

**ANALISIS ABRASI PANTAI DESA TLONTO RAJA
KECAMATAN PASEAN, KABUPATEN PAMEKASAN MADURA**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN
DAN KELAUTAN**

Oleh:

TAUFIK RAHMAN AMIN

NIM: 0910860094



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2015

**ANALISIS ABRASI PANTAI DESA TLONTO RAJA
KECAMATAN PASEAN, KABUPATEN PAMEKASAN MADURA**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN
DAN KELAUTAN**

Oleh:

TAUFIK RAHMAN AMIN

NIM: 0910860094



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2015

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN SKRIPSI

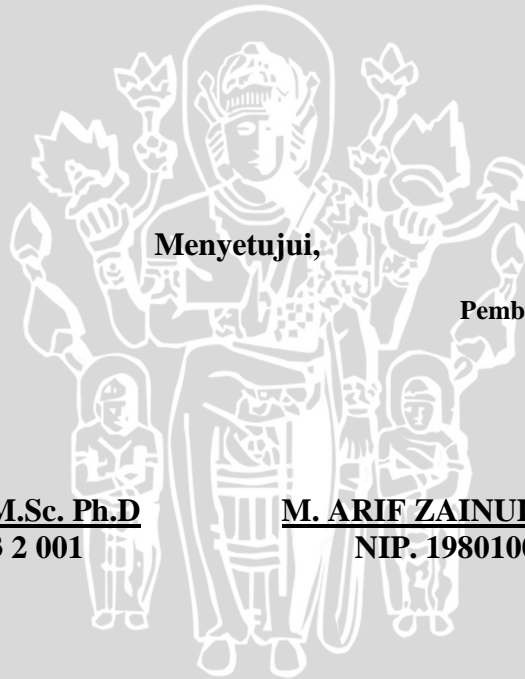
**ANALISIS ABRASI PANTAI DI PANTAI TLONTO RAJEH
KECAMATAN PASEAN, KABUPATEN PAMEKASAN
MADURA**

Oleh:

TAUFIK RAHMAN AMIN

NIM. 0910860094

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. AIDA SARTIMBUL, M.Sc. Ph.D
NIP. 19680901 199403 2 001

M. ARIF ZAINUL FUAD, S.Kel. M.Sc
NIP. 19801005 200501 1 002



RINGKASAN

Taufik Rahman Amin. Skripsi tentang Analisis Abrasi Pantai Desa Tlonto Raja Kecamatan Pasean Kabupaten Pamekasan Madura, (di bawah bimbingan Aida Sartimbul dan M Arif Zainul Fuad)

Indonesia merupakan negara maritim dengan jumlah pulau yang mencapai 17.500 pulau serta 75% wilayahnya adalah perairan laut, hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada yaitu 81.000 Km. Daerah pantai merupakan daerah yang berada di antara dua pengaruh yaitu pengaruh daratan dan pengaruh lautan sehingga menjadikan pantai sebagai daerah yang spesifik dan dinamis dengan berbagai ekosistem hidup yang saling mempunyai keterkaitan satu dengan yang lain. Perubahan garis pantai merupakan salah satu bentuk dinamisasi kawasan pantai yang terjadi secara terus menerus. Abrasi pada umumnya bersifat merusak lingkungan misalnya, merusak tambak perikanan, lahan pertanian, perumahan, bangunan pantai, pelabuhan dan lain sebagainya. Demikian pula halnya terjadi di Pantai Utara Kabupaten Pamekasan Madura Jawa Timur, tepatnya di Desa Tlonto Raja, Kecamatan Pasean, dalam beberapa tahun terakhir ini dilaporkan bahwa telah terjadi abrasi yang cukup parah sehingga merobohkan sedikitnya 50 rumah penduduk setempat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju abrasi serta penyebabnya dan mengetahui penanggulangannya di pantai Desa Tlonto Raja.

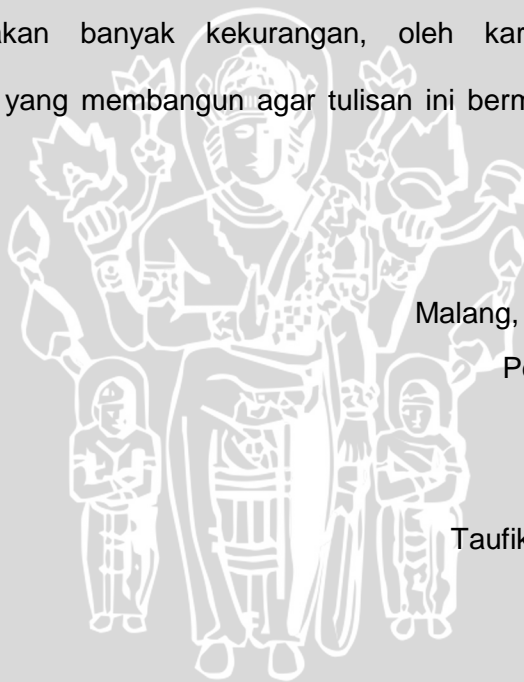
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengukur ataupun mencari data faktor-faktor oseanografi fisik yang berpengaruh terhadap perubahan garis pantai, meliputi; Tinggi gelombang, pasang surut, kecepatan angin, kemiringan pantai dan garis pantai. Setelah didapatkan data-data tersebut, dilakukan analisa perubahan garis pantai pada tempo terdahulu dengan citra satelit landsat 7 dan yang akan datang dengan permodelan numerik. Selanjutnya dilakukan analisa laju perubahan garis pantai dengan analisis uji-T variable bebas dan analisa penanggulangan Abrasi.

Hasil penelitian didapatkan bahwa abrasi Di Pantai Desa Tlonto Raja disebabkan karena adanya aktifitas warga yang menambang pasir pantai, sehingga merusak ekosistem pantai tersebut. Oleh karena itu disaat gelombang laut tinggi terjadi pengikisan garis pantai, terutama di daerah yang tak berpelindung dan yang menghadap langsung ke arah datangnya gelombang. Berdasarkan hasil analisis citra dan perhitungan numerik, Pantai Desa Tlonto Raja yang mengalami perubahan bentuk garis pantai akibat abrasi terjadi pada koordinat 113.56938 – 113.5748, yaitu pias 15, 14, 12, 10, 9, 7, 5, 4 dan 2. Sedangkan akresi terjadi pada pias 13, 11, 8, 6, 3 dan 1. Rata-rata laju abrasi pada tahun 2013-2014 sebesar 0,636 meter, Sedangkan pada hasil perkiraan berdasar model numerik tahun 2014-2015 dan 2015-2016 rata-rata laju abrasi sebesar 0,03 meter.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Mu penulis dapat menyajikan Laporan Skripsi yang berjudul Analisis Abrasi Pantai Desa Tlonto Raja, Kecamatan Pasean, Kabupaten Pamekasan Madura. Di dalam tulisan ini, disajikan pokok-pokok bahasan yang meliputi kondisi lokasi terkini serta analisa laju perubahan garis pantai serta penggulangnya.

Sangat disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.



Malang, 6 Desember 2014

Penulis

Taufik Rahman Amin

DAFTAR ISI

ANALISIS ABRASI PANTAI DESA TLONTO RAJA.....	1
RINGKASAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Tempat dan Waktu Penelitian.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kawasan Pantai.....	5
2.1.1 Tipe-Tipe Pantai.....	5
2.1.2 Bagian-Bagian Pantai.....	7
2.2 Hidro Oseanografi Pantai.....	8
2.2.1 Gelombang.....	9
2.2.2 Arus.....	10
2.2.3 Pasang Surut.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Proses Pantai.....	11
2.3.1 Transpor Sedimen Pantai (<i>Sediment Transpor</i>).....	11
2.3.2 Imbangan Sedimen Pantai.....	14
2.3.3 Model Perubahan Garis Pantai.....	14
2.4 Abrasi Pantai.....	15
2.4.1 Penyebab Abrasi.....	16
2.4.2 Penanggulangan Abrasi.....	17
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat.....	19
3.2 Prosedur penelitian.....	20



3.3	Metode Pengumpulan Data	21
3.3.1	Data Primer	22
3.3.2	Data Sekunder	23
3.4	Analisis Data	25
3.4.1	Analisis Data Gelombang.....	25
3.4.2	Analisis Perubahan Garis Pantai Dengan Citra Satelit Goggle Earth	27
3.4.3	Analisis Perkiraan Perubahan Garis Pantai dengan Model Numerik	28
3.4.4	Analisis Laju Abrasi	30
3.4.5	Analisis Penyebab Abrasi.....	30
3.4.6	Analisis Penanganan Abrasi.....	31
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1	Kondisi Umum	32
4.1.1	Letak Geografis.....	32
4.1.2	Kondisi Morfologi Pantai Desa Tlonto Raja	33
4.1.3	Kondisi Geologi Pantai Desa Tlonto Raja.....	34
4.1.4	Kondisi Meteorologi Pantai Desa Tlonto Raja	34
4.1.5	Kondisi Tataguna Lahan.....	36
4.1.7	Kondisi Gelombang Pantai Desa Tlonto Raja	37
4.2	Perubahan Garis pantai.....	46
4.2.1	Perubahan Garis Pantai Yang Telah terjadi	47
4.2.2	Prediksi Perubahan Garis Pantai	50
4.3	Analisis Laju Abrasi	55
4.4	Analisis Penyebab Abrasi.....	66
4.4.1	Pengaruh gelombang terhadap laju abrasi.	66
4.4.2	Penggundulan hutan mangrove	67
4.4.3	Interupsi angkutan sedimen sejajar pantai.....	67
4.4.4	Penambangan Pasir Pantai.....	67
4.5	Analisis Penanganan Abrasi.....	68
4.5.1	Analisis Bangunan <i>Seawall</i>	68
4.5.2	Pelindung Alami Pantai	69
4.5.3	Penambahan Suplai Pasir Pantai (<i>Sand Nourishment</i>).....	70
5	PENUTUP	72
5.1	Kesimpulan	72

5.2	Saran.....	72
	DAFTAR PUSTAKA.....	74
	LAMPIRAN.....	76



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram alir Rumusan Masalah.....	3
Gambar 2. Definisi Pantai dan batasannya (Triadmodjo, 1999).....	5
Gambar 3. Bagian-Bagian Pantai (Triadmodjo, 1999)	8
Gambar 4. Ilustrasi rambatan gelombang (Triatmodjo,1999).....	9
Gambar 5. Ilustrasi transpor sedimen pantai (Triadmodjo,1999)	12
Gambar 6. Garis pantai dalam beberapa pias/sel (Triadmojo, 1999).....	15
Gambar 7. Lokasi penelitian (Quick bird II dalam Google Earth, 2014)	20
Gambar 8. Skema kerja prosedur penelitian	21
Gambar 9. Skema kerja pengambilan data	22
Gambar 10. Diagram alir proses pengolahan dan analisis data tinggi gelombang	27
Gambar 11. Pembagian pias di lokasi penelitian (Google Earth, 2014).	29
Gambar 12. Mawar angin di Pasean tahun 1999-2013.....	36
Gambar 13. Peta penggunaan lahan di Desa Tlonto Raja. (Google Earth,2014)	37
Gambar 14. Diagram Regresi tinggi gelombang dari BMKG dan ECMWF Th. 2013-2014.....	38
Gambar 15. Mawar gelombang di Pasean tahun 1999-2003.....	40
Gambar 16. Grafik perbandingan H'_o/H_b dengan H'_o/gT^2 (Triatmodjo, 1999)	45
Gambar 17. Grafik Hubungan antara H_b/gT^2 dengan d_b/H_b (Triatmodjo, 1999)..	46
Gambar 18. Perubahan Garis Pantai tahun 2013 (merah) dan 2014 (hitam)....	48
Gambar 19. Perbandingan garis pantai tahun 2014, dan perkiraan pada tahun 2015 dan 2016 (Google Earth, 2014).	54
Gambar 20. Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_o	77
Gambar 21. Peta Bathi metri Pulau Madura	78
Gambar 22. Digitasi citra Google Earth tahun 2013 (Google Earth, 2015).....	81
Gambar 23. Perbandingan garis pantai 2013, 2014 dan perkiraan 2015.....	83
Gambar 24. Perbandingan garis pantai tahun 2013, 2014 dan perkiraan 2016. 83	
Gambar 25. Diagram Regresi Tinggi gelombang tahun 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.....	85
Gambar 26. Kondisi lapang dan <i>seawall</i>	86
Gambar 27. Bangunan <i>seawall</i>	86
Gambar 28. Bangunan <i>Seawall</i> dan parkir kapal.....	86
Gambar 29. Bangunan <i>Seawall</i> dan gelombang (Radarmadura, 2014).....	87
Gambar 30. Bangunan <i>seawall</i> hanyut oleh hempasan gelombang (Radarmadura,2014).....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 1. *Time line* pelaksanaan penelitian.....4

Tabel 2. Rumus perhitungan Transpor sedimen.....13

Tabel 3. Sebaran ukuran Sedimen34

Tabel 4. Hasil Uji T statistik data tinggi gelombang dari ECMWF dan BMKG.39

Tabel 5. Data tinggi gelombang Signifikan 15 tahun terakhir.....41

Tabel 6. Besar Perubahan garis pantai berdasar citra satelit Quick Bird II dari Goggle Earth tahun 2013 dan *tracking* tahun 2014.49

Tabel 7. Hasil perhitungan angkutan sedimen dalam satu tahun.....51

Tabel 8. Perubahan garis pantai dengan kala ulang.....53

Tabel 9. Analisis Laju Abrasi64

Tabel 10. Perhitungan Tinggi gelombang signifikan tahun 1999-2013.....76

Tabel 11. Perhitungan deformasi gelombang di laut dangkal setiap pias.79

Tabel 12. Perhitungan angkutan sedimen dan perkiraan perubahan garis pantai setiap pias.....82

Tabel 13. Group Statistics Tinggi gelombang tahun 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.....84

Tabel 14. Independent Samples Test Tinggi gelombang tahun 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.84



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan tinggi gelombang signifikan.....	76
Lampiran 2. Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0	77
Lampiran 3. Peta Bathi metri Pulau Madura.....	78
Lampiran 4. Perhitungan deformasi gelombang di laut dangkal.....	79
Lampiran 5. Digitasi Citra Landsat dan posisis garis pantai.....	81
Lampiran 6. Perhitungan angkutan sedimen pantai.....	82
Lampiran 7. Peta Model perubahan garis pantai di Pantai Desa Tlonto Raja.	83
Lampiran 8. Hasil Uji-T dan RegresiTinggi Gelombang Th. 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.	84
Lampiran 9. Kondisi lapang.....	86
Lampiran 10. Daftar istilah.....	88
Lampiran 11. Daftar Notasi.....	89



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim dengan jumlah pulau kurang lebih 17.000 pulau serta 75% wilayahnya adalah perairan laut, hal ini menjadikan Indonesia sebagai Negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada yaitu 81.000 Km. Sebagai negara maritim, banyak aktivitas masyarakat yang dilakukan di lingkungan pantai, seperti kegiatan ekonomi perikanan, pariwisata, pertanian, industri, hunian, transportasi, dan bahkan kota-kota besar di Indonesia terletak di pesisir pantai. Oleh karena itu kajian mengenai dinamika lingkungan pantai dan ekosistem sangatlah diperlukan untuk tetap menjaga kesetimbangan ekosistem wilayah pesisir (Triatmodjo, 1999).

Pantai merupakan wilayah yang dinamis. Menurut Yuwono & Kodoatie (2004), daerah pantai merupakan daerah yang berada di antara dua pengaruh yaitu pengaruh daratan dan pengaruh lautan sehingga menjadikan pantai sebagai daerah yang spesifik dan dinamis dengan berbagai ekosistem hidup yang saling mempunyai keterkaitan satu dengan yang lain. Perubahan garis pantai merupakan salah satu bentuk dinamisasi kawasan pantai yang terjadi secara terus menerus. Perubahan garis pantai yang terjadi di kawasan pantai berupa pengikisan (*abrasi atau erosi*) dan penambahan (*sedimentasi atau akresi*) badan pantai. Menurut Triatmodjo (1999), abrasi pantai didefinisikan sebagai mundurnya garis pantai dari posisi asalnya. Abrasi atau Erosi pantai disebabkan oleh adanya angkutan sedimen menyusur pantai sehingga mengakibatkan berpindahannya sedimen dari satu tempat ke tempat lainnya. Angkutan sedimen menyusur pantai terjadi bila arah gelombang datang membentuk sudut dengan garis normal pantai.



Abrasi pada umumnya bersifat merusak lingkungan misalnya, merusak tambak perikanan, lahan pertanian, perumahan, bangunan pantai, pelabuhan dan lain sebagainya. Menurut Diposaptono (2011), di Indonesia terdapat sekitar 100 lokasi di 17 Propinsi dengan panjang pantai kurang lebih 400 km telah mengalami abrasi pantai yang mengkhawatirkan. Demikian pula halnya terjadi di Pantai Utara Kabupaten Pamekasan Madura Jawa Timur, tepatnya di Desa Tlonto Raja, Kecamatan Pasean, dalam beberapa tahun terakhir ini dilaporkan bahwa telah terjadi abrasi yang cukup parah sehingga merobohkan sedikitnya 50 rumah penduduk setempat (Metrotvnews, 2013).

Dengan melihat dampak yang timbul akibat adanya abrasi di wilayah pesisir dan minimnya informasi terkait, maka perlu dilakukan penelitian tentang Analisis Abrasi di Pantai Tlonto Raja, Kecamatan Pasean, Kabupaten Pamekasan Madura, utamanya mengenai tingkat laju abrasi, dampak serta sebab terjadinya. Sehingga diharapkan dapat memberi informasi dalam mengambil langkah antisipasi ataupun dalam perencanaan dan pengambilan kebijakan pengembangan wilayah pesisir.

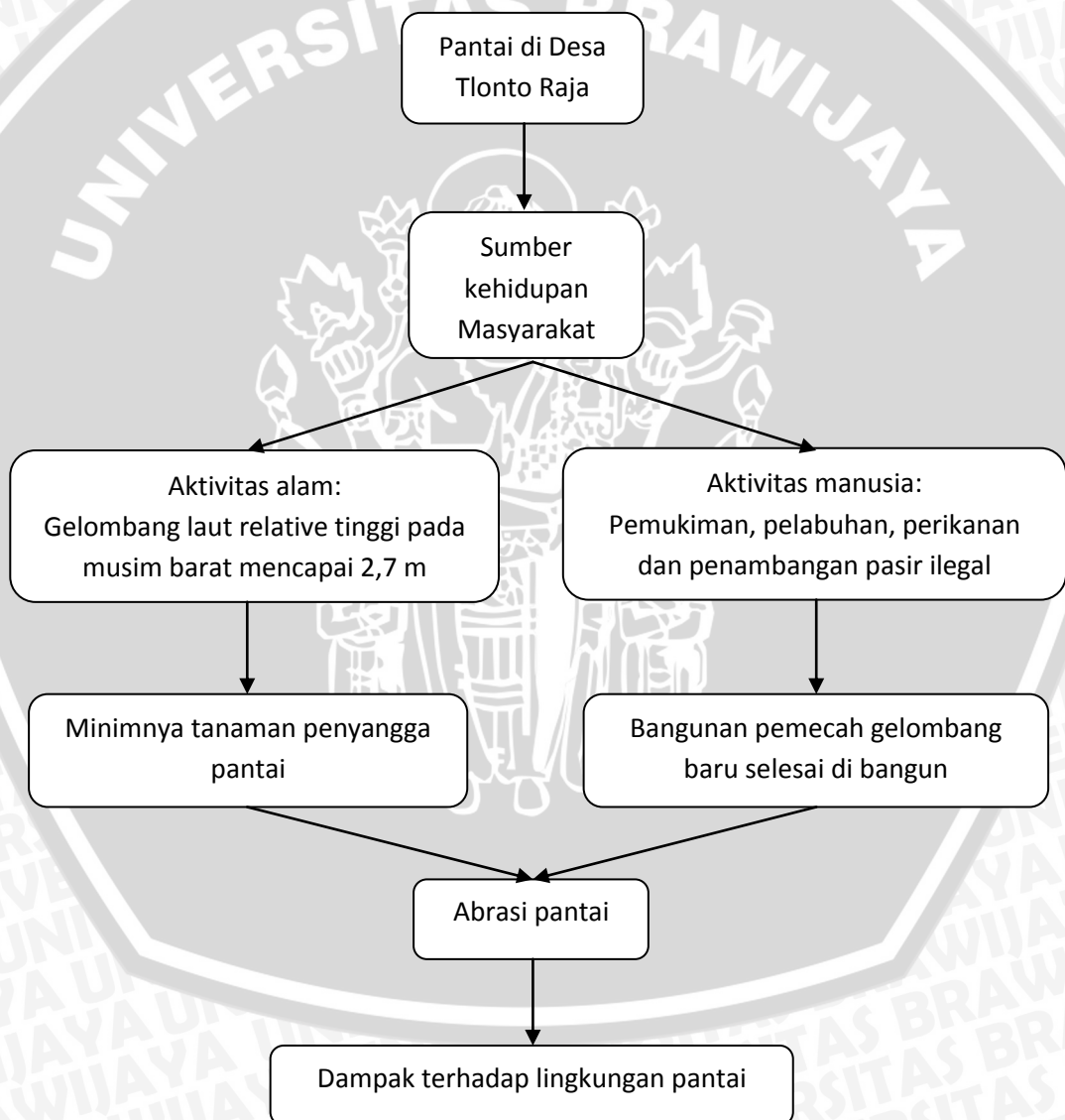
1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini permasalahan yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pasean merupakan wilayah pesisir Pantai Utara Pamekasan Madura yang memiliki berkarakter pantai relatif landai dan dipengaruhi pola angin Laut Jawa.
2. Pesisir Pasean tepatnya di Tlonto Raja merupakan daerah pemukiman padat penduduk yang tersebar hingga ke bibir pantai.

3. Adanya aktivitas penambangan pasir yang cukup besar yang telah berlangsung dalam beberapa tahun terakhir di sekitar lokasi abrasi.
4. Informasi tentang analisis abrasi yang sangat minim.

Bertitik tolak dari permasalahan tersebut, maka perlu adanya suatu penelitian tentang laju abrasi dan penyebab abrasi yang terjadi di Desa Tlonto Raja. Gambar 1 adalah diagram alir rumusan masalah.



Gambar 1. Diagram alir Rumusan Masalah.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui laju abrasi berdasarkan citra satelit.
2. Mengetahui laju abrasi berdasarkan pemodelan numerik.
3. Mengidentifikasi penyebab abrasi di Pantai Desa Tlonto Raja.

1.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, yang meliputi pengambilan data sekunder pada tanggal 14 Mei 2014 di kantor Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya dan pengambilan data primer di Pantai Desa Tlonto Raja, Kecamatan Pasean, Kabupaten Pamekasan Madura pada tanggal 20 Mei 2014. Tabel 1 *time line* pelaksanaan penelitian.

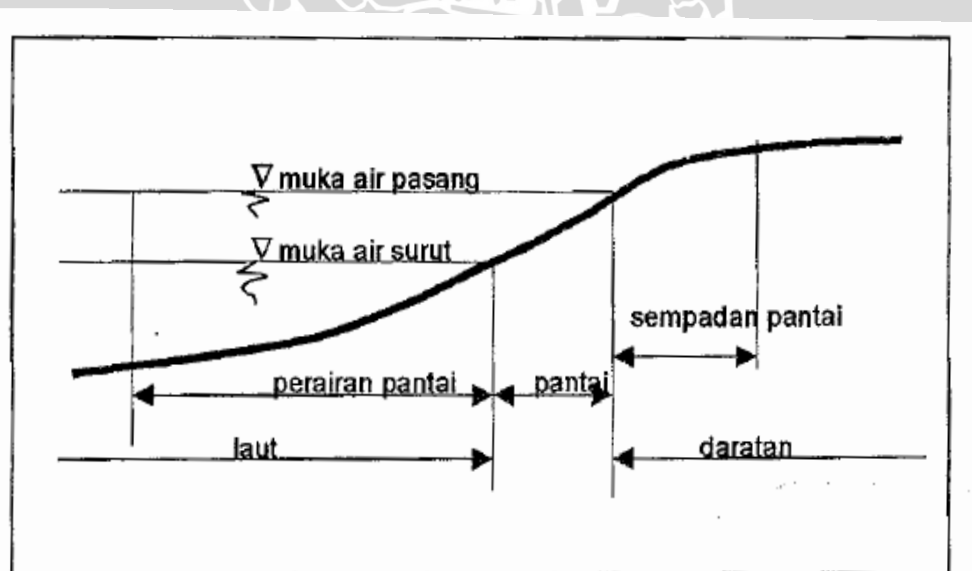
Tabel 1. *Time line* pelaksanaan penelitian.

NO	Kegiatan	Mei				Juni				Juli			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Pembuatan proposal dan konsultasi	√	√	√									
2	Pengambilan Data				√	√							
3	Analisis Data						√	√					√
4	Penyusunan Laporan dan konsultasi								√	√	√	√	√

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kawasan Pantai

Daerah pantai adalah suatu kawasan pesisir beserta perairannya dimana daerah tersebut masih terpengaruh baik oleh aktivitas darat dan laut (Pratikto dkk.1997). Garis pantai merupakan suatu garis batas pertemuan (kontak) antara daratan dengan air laut. Posisinya bersifat tidak tetap, dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Pantai terletak antara garis surut terendah dan air pasang tertinggi. Sedangkan menurut Triadmodjo (1999), pantai merupakan batas antara wilayah daratan dengan wilayah lautan. Dimana daerah daratan adalah daerah yang terletak diatas dan dibawah permukaan daratan dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Sedangkan daerah lautan adalah daerah yang terletak diatas dan dibawah permukaan laut dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi dibawahnya.



Gambar 2. Definisi Pantai dan batasannya (Triadmodjo, 1999)

2.1.1 Tipe-Tipe Pantai

Tipe-tipe pantai dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Berdasarkan Material Penyusunnya

- Pantai Batu (*rocky shore*), yaitu pantai yang tersusun oleh batuan induk yang keras seperti batuan beku atau sedimen yang keras.
- *Beach*, yaitu pantai yang tersusun oleh material lepas. Pantai tipe ini dapat dibedakan menjadi:
 - 4 *Sandy beach* (pantai pasir), yaitu bila pantai tersusun oleh endapan pasir.
 - 5 *Gravelly beach* (pantai kerikil, pantai berbatu), yaitu bila pantai tersusun oleh kerikil atau batuan lepas, seperti pantai kerakal.

- Pantai bervegetasi, yaitu pantai yang ditumbuhi oleh vegetasi pantai. Contoh: Pantai Mangrove.

b. Berdasarkan Sudut Morfologi

- Pantai bertebing (*cliffed coast*), yaitu pantai yang memiliki tebing vertical, biasanya karena erosi.
- Pantai berlereng (*non-cliffed coast*), yaitu pantai dengan lereng pantai. Pantai berlereng ini biasanya merupakan pantai pasir.

c. Berdasarkan sedimen penyusunnya

- Pantai gravel, bila pantai tersusun oleh endapan sedimen berukuran gravel (diameter butir > 2 mm).
- Pantai pasir, bila pantai tersusun oleh endapan sedimen berukuran pasir (0,5 – 2 mm).
- Pantai lumpur, bila pantai tersusun oleh endapan lumpur (material berukuran lempung sampai lanau, diameter < 0,5 mm).

(Yuwono, 2005).

2.1.2 Bagian-Bagian Pantai

Menurut Yuwono & Kodoatie (2004), pantai dapat dibagi menjadi beberapa bagian berdasar pengembangan dan pengelolaannya, diantaranya sebagai berikut:

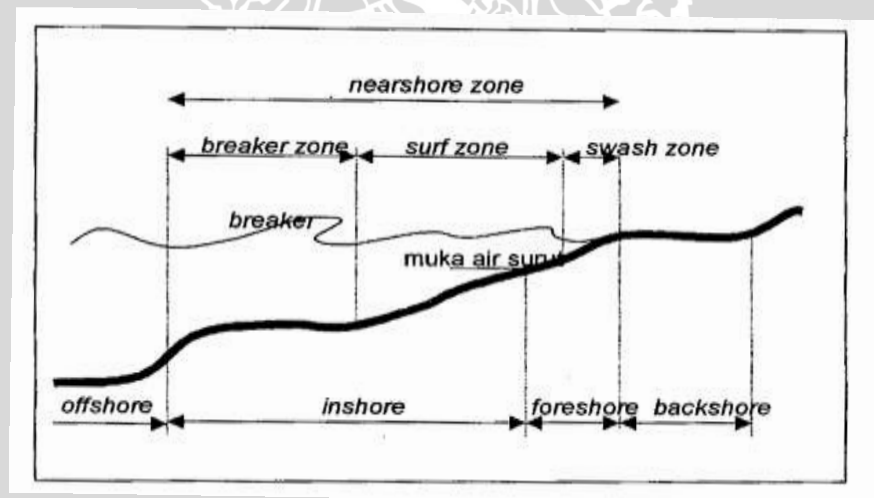
- Daerah pantai atau pesisir adalah daratan beserta perairannya yang masih dipengaruhi oleh aktivitas darat maupun oleh aktivitas laut.
- Pantai adalah daerah di tepi perairan sebatas antara surut terendah dan pasang tertinggi.
- Garis Pantai adalah garis batas antara daratan dan lautan.
- Daratan Pantai adalah daerah ditepi laut yang masih dipengaruhi oleh aktivitas laut.
- Perairan Pantai adalah perairan yang masih dipengaruhi oleh aktivitas daratan.
- Sempadan Pantai adalah daerah sepanjang pantai yang diperuntukkan bagi pengamanan dan pelestarian pantai.

Sedangkan untuk kepentingan rekayasa atau teknik pantai, Triadmodjo (1999) membagi pantai kedalam beberapa bagian diantaranya sebagai berikut

- *Surf zone* adalah daerah antara gelombang pecah sampai batas naik-turunnya gelombang di pantai.
- *Breaker zone* adalah daerah dimana terjadi gelombang pecah.
- *Swash zone* adalah daerah antara garis batas tertinggi dan terendah naik-turunnya gelombang di pantai.
- *Offshore* adalah daerah dari gelombang (mulai) pecah sampai ke laut lepas.
- *Foreshore* adalah daerah antara surut terendah dan pasang tertinggi.

- *Inshore* adalah daerah antara *offshore* dan *foreshore*.
- *Backshore* adalah daerah antara *foreshore* dan garis pantai pada saat terjadi gelombang badai bersamaan dengan muka air tertinggi.
- *Coast* adalah daratan pantai yang masih terpengaruh laut secara langsung, misalnya pengaruh pasang surut, angin laut, dan ekosistem pantai (hutan bakau, gunung pasir (*sand dunes*)).
- *Coastal area* adalah daratan pantai dan perairan pantai sampai kedalaman 100 atau 150 m.
- *Shorline* adalah batas antara darat dengan laut saat surut terendah.
- *Coastline* adalah batas antara darat dengan laut saat pasang tertinggi.

Berikut ini adalah gambar ilustrasi pembagian pantai ditinjau untuk kepentingan rekayasa, Gambar 3.



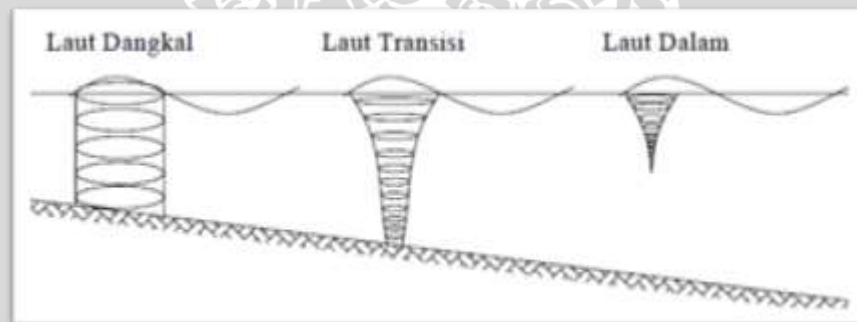
Gambar 3. Bagian-Bagian Pantai (Triadmodjo, 1999)

2.2 Hidro Oseanografi Pantai

Hidro Oseanografi pantai adalah proses-proses air yang terjadi dan memberikan dampak terhadap pantai. Dalam pembahasan ini akan dibahas 3 (tiga) yaitu sebagai berikut.

2.2.1 Gelombang

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak membentuk pola lingkaran besardengan puncak gelombang pada puncak lingkaran dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai (Triatmodjo,1999).



Gambar 4. Ilustrasi rambatan gelombang (Triatmodjo,1999).

Gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami pembiasan (refleksi) dan akan memusat (konvergensi) jika mendekati semenanjung dan akan mengalami penyebaran (divergensi) jika menuju cekungan (CHL, 2002). Disamping itu keadaan gelombang juga sangat dipengaruhi oleh topografi dasar laut, yaitu garis kontur, keadaan dasar, dan kelengkungan garis pantai.

Triatmojo (1999) mengklasifikasikan gelombang pada kedalaman relatif berdasarkan perbandingan antara kedalaman air (d) dan panjang gelombang $L(d/L)$ sebagai berikut:

1. Gelombang laut dangkal, jika $d/L \leq 1/2$
2. Gelombang laut transisi, jika $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang laut dalam, jika $d/L \geq 1/2$

Untuk saat ini sangatlah sulit mendapatkan data gelombang secara global dan update, untuk itu dilakukanlah pendekatan perkiraan gelombang dengan menggunakan data hembusan angin 10 meter diatas permukaan laut. Data hembusan angin beserta panjang jarak hembusan angin di laut bebas daratan (*Fetch*) diolah dengan persamaan permodelan tertentu sehingga didapatkan data perkiraan gelombang.

2.2.2 Arus

Menurut Gros (1990) dalam Triatmodjo (1999), arus merupakan gerakan horizontal atau vertikal dari massa air menuju kestabilan yang terjadi secara terus menerus. Gerakan yang terjadi merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada permukaan, kolom, dan dasar perairan. Hasil dari gerakan massa air adalah vektor yang mempunyai besaran kecepatan dan arah.

Transpor masa dan momentum dalam penjalaran gelombang menimbulkan arus di dekat pantai. Di daerah lepas pantai (*offshore zone*) gelombang menimbulkan gerak orbit partikel air, gerak orbit partikel air tidak tertutup sehingga menimbulkan transpor masa air. Transpor tersebut dapat disertai dengan terangkutnya sedimen dasar dalam arah menuju pantai (*onshore*) dan meninggalkan pantai (*offshore*). Gelombang pecah menimbulkan arus dan turbulensi yang sangat besar yang dapat

menggerakkan sedimen dasar. gerak massa air tersebut disertai dengan terangkutnya sedimen. Arus yang terjadi di surf zone dan swash zone adalah yang paling penting di dalam analisis pantai, dimana sangat tergantung pada arah datang gelombang (Triatmodjo, 1999).

2.3 Proses Pantai

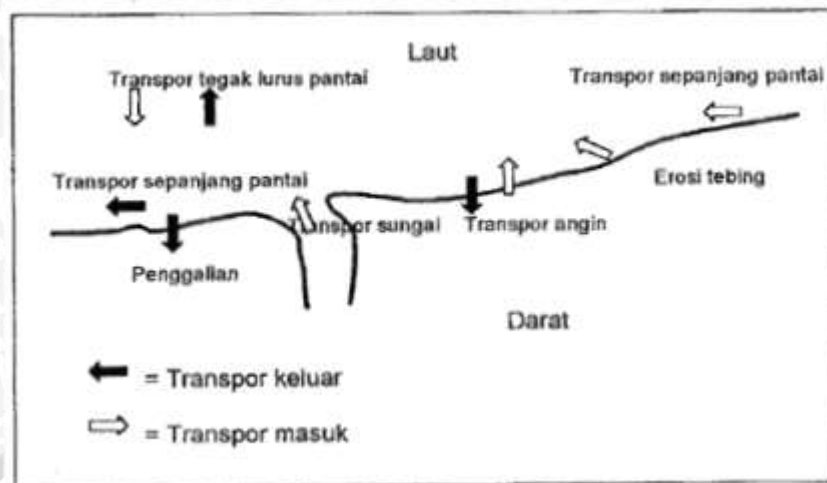
Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sehingga mampu menerima dan menghancurkan energi gelombang yang datang. Penyesuaian bentuk ini merupakan respon dinamis pantai terhadap pergerakan air laut.

Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh *Littoral Transport*, yaitu gerak sedimen di daerah dekat pantai. *Littoral Transport* dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu transpor sepanjang pantai (*longshore transport*), dan transpor tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*). Sedangkan material yang ditranspor disebut *littoral drift* (Triatmodjo, 1999).

2.3.1 Transpor Sedimen Pantai (*Sediment Transport*)

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya, terjadi di daerah antara gelombang pecah dan garis pantai. Transpor sedimen dapat diklasifikasikan menjadi transpor menuju dan meninggalkan pantai dengan arah tegak lurus pantai (*Onshore-offshore transport*) dan transpor sepanjang pantai dengan arah sejajar pantai (*Longshore transport*). Berikut ini adalah gambar ilustrasi transpor sedimen pantai, gambar 5.





Gambar 5. Ilustrasi transpor sedimen pantai (Triadmodjo,1999)

Transpor sepanjang pantai memiliki dua komponen utama, yang pertama yaitu transpor sedimen dalam bentuk mata gergaji di garis pantai karena adanya gelombang yang menjalar naik kepantai disaat gelombang datang dengan sudut tertentu dan turun lagi dengan arah tegak lurus pantai., yang kedua yaitu transpor sepanjang pantai di daerah *surf zone* yang ditimbulkan oleh arus sepanjang pantai yang dibangkitkan oleh gelombang pecah.

Transpor sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan masalah seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya. Oleh karena itu danya prediksi mengenai hal ini menjadi sangat penting. Berikut ini beberapa cara yang biasa digunakan untuk memprediksi transpor sedimen sepanjang pantai.

- Mengukur debit sedimen di lokasi pantai. Ini merupakan cara terbaik.
- Peta atau pengukuran yang menunjukkan perubahan elevasi dasar dalam suatu periode tertentu. Metode ini biasa digunakan

pada daerah yang memiliki bangunan yang dapat menangkap sedimen.

- Rumus empiris berdasarkan pada kondisi gelombang di daerah yang ditinjau.

Cara memprediksi transpor sedimen sepanjang pantai dapat dilakukan dengan menggunakan rumus empiris yaitu rumus yang dikembangkan berdasar data pengukuran model pantai berpasir. Rumus-rumus tersebut merupakan hubungan antara transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai.

$$Q_s = KP$$

$$P = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

Dengan:

Q_s : Angkutan sedimen sepanjang pantai ($m^3/hari$)

P :Komponen fluks energi gelombang dipantai saat pecah ($Nm/d/m$)

ρ : Massa jenis air laut (kg/m^3)

g : Kecepatan gravitasi

H_b : Tinggigelombang pecah

C_b :Cepat rambat gelombang

α_b : Sudut datang gelombang pecah

K : Kostanta

Sedangkan untuk nilai konstanta (K) adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Rumus perhitungan Transpor sedimen

Nomor	Nama	Rumus
1	Caldwell	$Q_s = 1,200 P_1^{0,8}$
2	Savage	$Q_s = 0,219 P$
3	Ijima, Sato, Aono, Ishii	$Q_s = 0,130 P^{0,54}$



Nomor	Nama	Rumus
4	Ichikawa, Achiai, Tomita, Morubuse	$Q_s = 0,130 P^{0,8}$
5	Manohar	$Q_s = 55,7 D^{0,59} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{-0,41} P^{0,91}$
6	Ijima, Sato	$Q_s = 0,061 P$
7	Tanaka	$Q_s = 0,12 P$
8	Komar, Inman	$Q_s = 0,778 P$
9	Komar, Inman	$Q_s = 0,283 P \frac{V P}{U \infty \sin b}$
10	Das	$Q_s = 0,325 P$
11	CERC	$Q_s = 0,401 P$

(Triatmodjo, 1999).

2.3.2 Imbangan Sedimen Pantai

Menurut Triatmodjo (1999) analisis imbangan sedimen pantai digunakan untuk mengevaluasi sedimen yang masuk dan yang keluar dari suatu pantai yang di tinjau. Analisis imbangan sedimen pantai didasarkan pada hukum kontinuitas atau kekekalan masa sedimen. Dengan analisis ini dapat diperkirakan daerah pantai yang mengalami erosi ataupun akresi. Analisis ini dilakukan dengan mengevaluasi sedimen yang masuk dan yang keluar dari suatu ruas pantai lalu dibandingkan, apabila nilai imbangan adalah nol maka pantai dalam kondisi stabil, jika bernilai positif maka pantai mengalami sedimentasi atau akresi, begitu juga sebaliknya jika bernilai negatif maka terjadi erosi di pantai tersebut.

2.3.3 Model Perubahan Garis Pantai

Sebagaimana telah dibahas diatas bahwa pantai akan selalu mensuplai ataupun disuplai sedimen ke- dan dari pantai sekitarnya, apabila selisih keduanya adalah nol maka pantai dalam kondisi stabil, nilai positif adalah sedimentasi dan abrasi untuk nilai negatif. Untuk memudahkan dalam evaluasi suatu pantai mengalami akresi atau erosi, maka dibuatlah pemodelan matematik perubahan garis pantai. Menurut Triatmodjo (1999)

bahwasanya pemodelan ini berdasarkan imbalan sedimen pantai pada daerah pantai yang ditinjau. Dalam prosesnya model ini didasarkan pada persamaan kontinuitas sedimen, untuk itu pantai dibagi menjadi beberapa sel. Pada setiap sel ditinjau angkutan sedimen yang keluar dan yang masuk.

Berikut ini adalah rumus model perubahan garis pantai:

$$Y^{n+1} = Y^n - \frac{\Delta t}{d \Delta x} (Q^{n_{i+1}} - Q^n)$$

Keterangan:

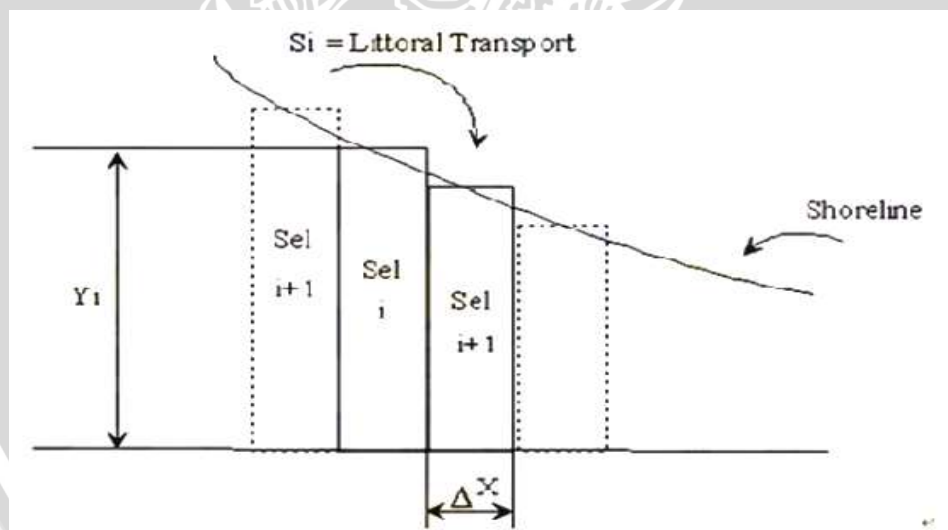
Y_i : Perubahan garis pantai

t : waktu

d : Kedalaman

x : Lebar sel pemodelan

Q : angkutan sedimen sepanjang pantai



Gambar 6. Garis pantai dalam beberapa pias/sel (Triadmojo, 1999)

2.4 Abrasi Pantai

Abrasi merupakan salah satu masalah yang mengancam kondisi pesisir, yang dapat mengancam garis pantai sehingga mundur kebelakang, merusak tambak maupun lokasi persawahan yang berada di pinggir pantai,

dan juga mengancam bangunan-bangunan yang berbatasan langsung dengan air laut, baik bangunan yang difungsikan sebagai penunjang wisata maupun rumah-rumah penduduk. Abrasi pantai didefinisikan sebagai mundurnya garis pantai dari posisi asalnya (Triatmodjo, 1999). Sedangkan menurut Yuwono (2005) abrasi atau erosi pantai adalah proses mundurnya garis pantai dari kedudukan semula yang disebabkan oleh tidak adanya keseimbangan antara pasokan dan kapasitas angkutan sedimen.

2.4.1 Penyebab Abrasi

Secara garis besar abrasi disebabkan dua faktor utama, yaitu faktor alam dan faktor manusia. Menurut Hidayat (2006) faktor-faktor alam yang dapat menyebabkan abrasi adalah sebagai berikut:

1. Kondisi morfologi pantai, dimana kontur dan kedalaman pantai akan mempengaruhi pola transpor sedimen.
2. Besar kecilnya gelombang sangat tergantung dengan lama hembusan angin serta jarak *fetch*, semakin lama dan besar *fetch* akan memberikan energi gelombang yang besar pula.
3. Arus merupakan salah satu faktor yang berperan dalam pengangkutan sedimen di daerah pantai.
4. Pasut adalah gerakan naik turunnya muka laut secara berirama yang disebabkan oleh gravitasi bulan dan matahari. Secara tidaklangsung gerak pasut ini menimbulkan gerak partikel air yang biasa disebut dengan arus pasut.

Sedangkan faktor non-alam atau yang disebabkan oleh manusia adalah sebagai berikut:

1. Penurunan tanah dapat terjadi akibat perbuatan manusia, misalnya karena pengambilan air tanah secara tak terkendali, atau penambangan minyak dan bahan mineral.
2. Penambangan karang dan pasir.
Penambangan ini mengakibatkan dampak berupa perubahan kedalaman, pola arus dan pola gelombang yang mengakibatkan erosi pantai.
3. Perusakan pelindung alam Penggundulan hutan mangrove.
4. Interupsi atau pemotongan angkutan sedimen sejajar pantai..
5. Pengurangan suplai sedimen ke pantai.

2.4.2 Penanggulangan Abrasi

Pantai memerlukan Pelindung untuk tetap menjaga bentuk dan kondisinya. Perlindungan pantai dapat ditimbulkan secara alami oleh pantai maupun dengan bantuan manusia. Perlindungan pantai secara alami dapat berupa *dunes* (gunungan pasir), karang laut, mangrove dan lamun yang tumbuh secara alami ataupun ditanami. Perlindungan pantai dengan bantuan manusia dapat berupa struktur bangunan pengaman pantai, penambahan timbunan pasir, maupun penanaman mangrove pada daerah pantai.

Menurut Triatmodjo (1999), beberapa prinsip yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai yaitu :

- Memperkuat atau melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang
- Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai
- Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai
- Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai.

Adapun bangunan pantai secara garis besar diklasifikasikan menjadi 3 kelompok :

- a. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai, misalnya dinding pantai/ *revetment* yang dibangun pada garis pantai atau di daratan untuk melindungi pantai dari serangan gelombang.
- b. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan tersambung ke pantai. Misalnya, groin dan *jetty*
- c. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan kira-kira sejajar garis pantai, misalnya pemecah gelombang (*break water*), Dinding pantai (*Sea wall*) (Triatmodjo, 1999).

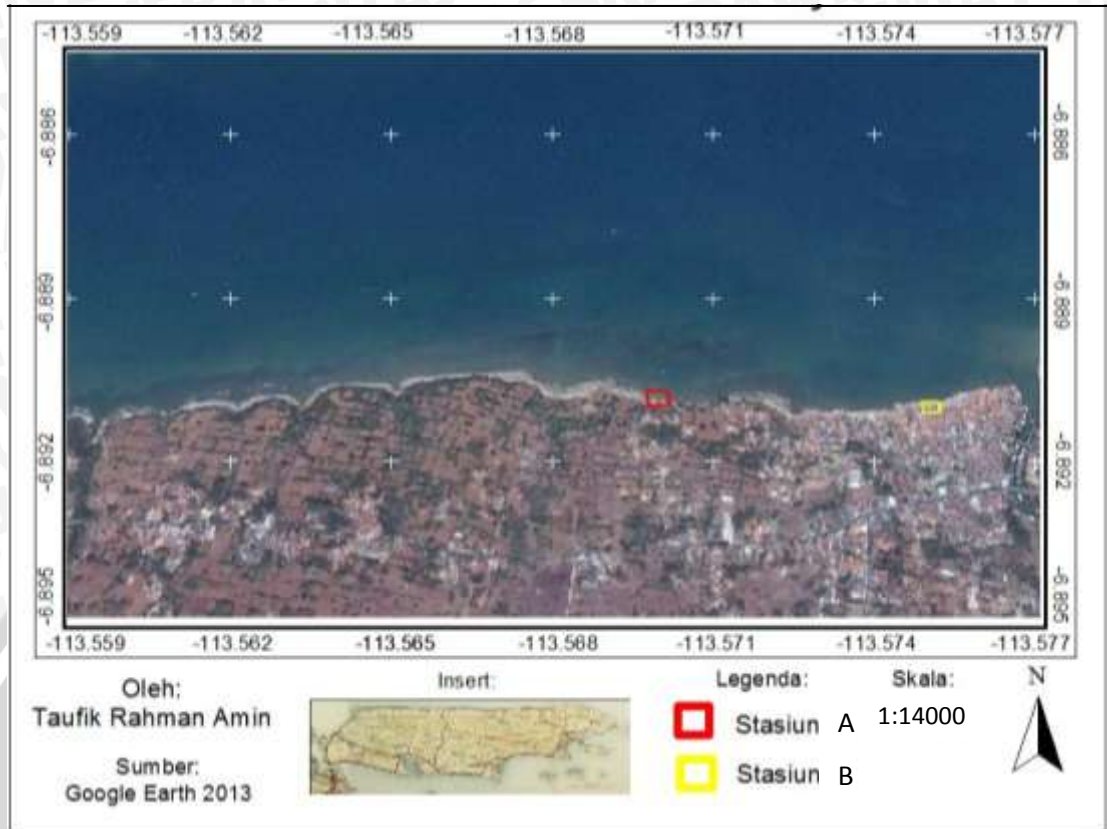


3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian skripsi ini dilaksanakan dalam dua tahap penelitian. Pertama dilakukan di kantor Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak II tanggal 14 Mei 2014 sedangkan penelitian yang kedua dilakukan di lokasi terjadinya abrasi yaitu Pantai di Desa Tlonto Raja Kecamatan Pasean, Kabupaten Pamekasan Madura, Jawa Timur pada tanggal 20 Mei 2014. Penelitian di lokasi pertama dilakukan pengambilan data gelombang dan data meteorologi. Sedangkan pada lokasi kedua adalah observasi lapang, meliputi: Perekaman koordinat garis pantai (*tracking*) di sepanjang pantai dengan GPS ($113^{\circ} 33' 23''$ - $113^{\circ}34'16''$ BT, $6^{\circ} 53' 32''$ - $6^{\circ} 53' 37''$ LS), pengukuran kemiringan pantai dan komposisi sedimen di stasiun A ($113^{\circ} 33' 36''$ BT, $6^{\circ} 53' 34''$ LS) dan stasiun B ($113^{\circ} 34' 05''$ BT, $6^{\circ} 53' 33''$ LS), wawancara dengan warga setempat dan pengambilan gambar lokasi. Gambar 7 merupakan Peta lokasi penelitian.

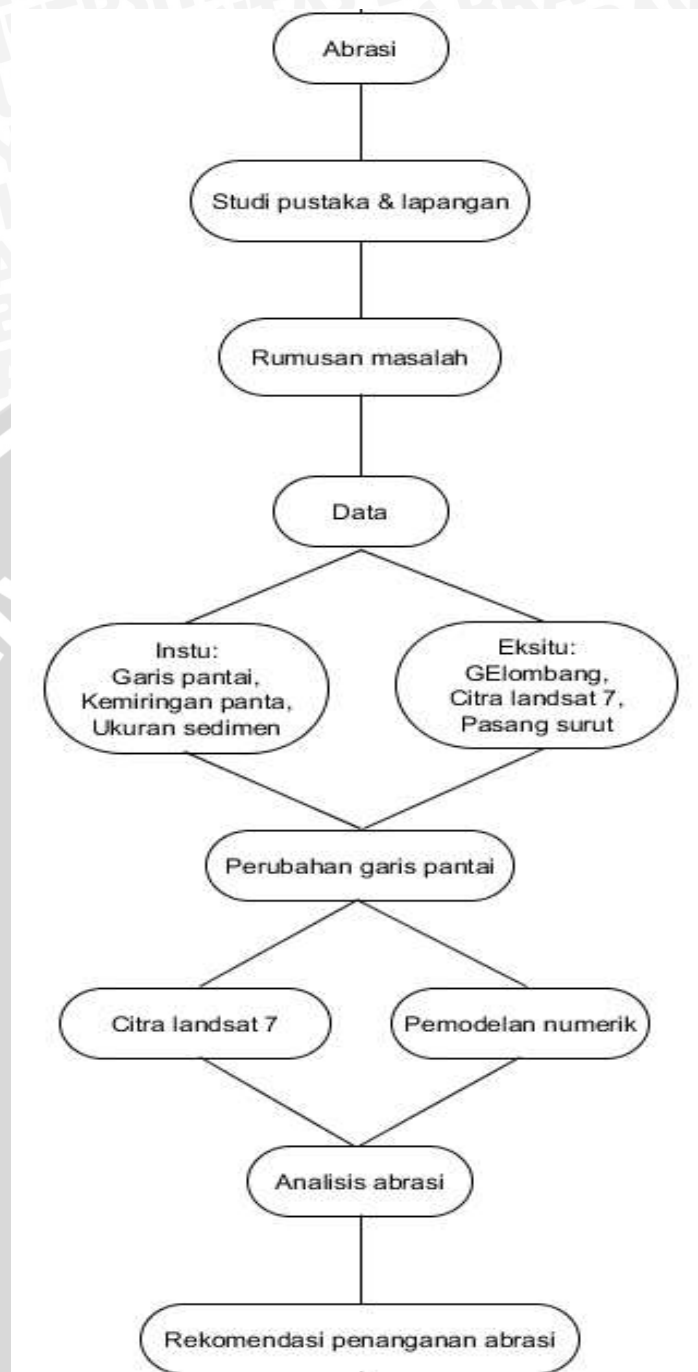




Gambar 7. Lokasi penelitian (Quick bird II dalam Google Earth, 2014)
 Pantai Desa Tlonto Raja terletak pada koordinat $113^{\circ} 33' 23''$ -
 $113^{\circ} 34' 16''$ BT dan $6^{\circ} 53' 32''$ - $6^{\circ} 53' 37''$ LS. Titik
 pengambilan data stasiun A : $113^{\circ} 33' 36''$ BT, $6^{\circ} 53' 34''$ LS,
 stasiun B: $113^{\circ} 34' 05''$ BT, $6^{\circ} 53' 33''$ LS

3.2 Prosedur penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap yaitu pengumpulan data, analisis data, dan pemilihan alternatif penanganan abrasi. Skema kerja prosedur penelitian Gambar 8.

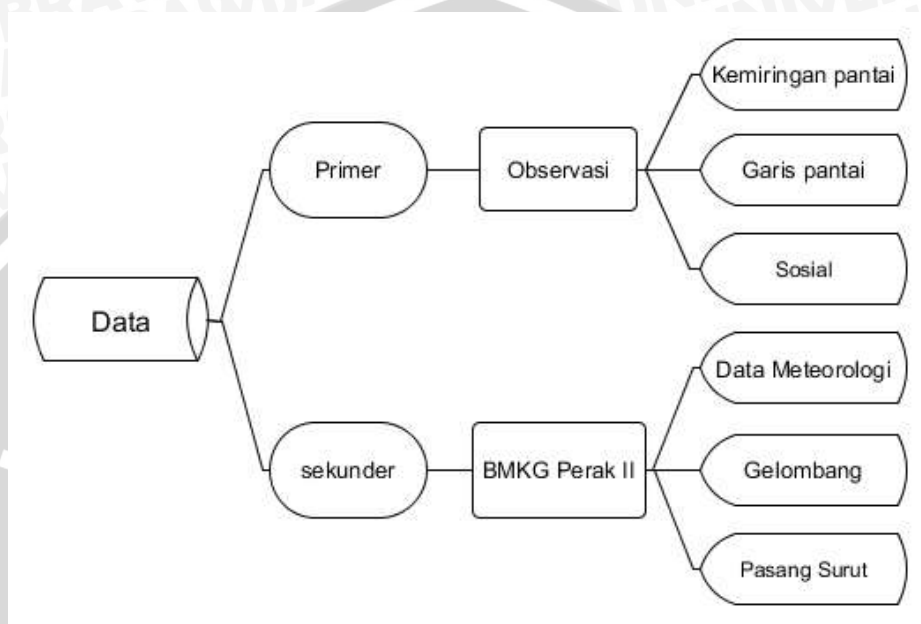


Gambar 8. Skema kerja prosedur penelitian

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi yang lengkap berkaitan dengan faktor yang berpengaruh dalam pemilihan lokasi yang berpengaruh terhadap tema yang akan dikaji. Dalam penelitian skripsi

ini digunakan dua macam data yaitu data primer yang didapat dengan cara observasi, survey lapangan, wawancara ataupun dari pihak kedua. Sedangkan data yang kedua ialah data sekunder didapat dari kajian pustaka yang telah ada. Berikut ini skema kerja pengambilan data.



Gambar 9. Skema kerja pengambilan data

3.3.1 Data Primer

Data primer adalah data yang didapat secara langsung dengan mengadakan langsung gejala obyek yang diselidiki, baik dalam situasi yang sebenarnya maupun dalam situasi buatan yang khusus diadakan. Jadi data primer ini diperoleh secara langsung dari pencatatan hasil observasi, wawancara, partisipasi aktif, dan dokumentasi. Pada penelitian ini data primer yang dikumpulkan adalah:

a. Kemiringan pantai

Dalam menentukan nilai kemiringan pantai terlebih dahulu kita ukur lebar pantai, yaitu jarak antara titik pasang tertinggi dengan titik surut terendah dengan menggunakan meteran. Selanjutnya kita cari selisih tinggi kedua titik tersebut dengan bantuan selang ukur dan meteran, dengan cara

menyamakan tinggi permukaan air dalam selang yang direntangkan dari satu titik dengan titik yang lain dan diukur tinggi air dalam selang dari atas tanah.

Setelah didapatkan lebar pantai dan selisih tinggi antara titik pasang tertinggi dengan surut terendah selanjutnya kita cari sudut kemiringan dengan menggunakan prinsip segitiga sinus, yaitu tinggi dibagi dengan panjang sisi miring maka kita dapatkan nilai sinus sudut kemiringan. Selanjutnya untuk mengetahui derajat kemiringan kita gunakan bantuan kalkulator.

b. Garis pantai

Dalam penelitian ini garis pantai diartikan sebagai batas antara daratan dan perairan laut disaat pasang atau disebut *coast line* (Triatmodjo, 1999). Untuk mengukur garis pantai terkini dilakukan secara langsung dilokasi dengan cara *tracking* menggunakan GPS yang dilakukan disepanjang pantai. Sedangkan untuk mengetahui garis pantai pada waktu yang lampau dilakukan dengan cara digitasi citrasatelit pada waktu yang kita inginkan, dalam hal ini kita gunakan citra Quick Bird II tahun 2013 yang berasal dari Goggle Earth Pro.

c. Sosial masyarakat

Sosial masyarakat dimaksudkan sebagai keadaan lingkungan, pemanfaatan dan aktifitas masyarakat disekitar lokasi penelitian. Dalam hal ini dilakuakan observasi secara langsung dan wawancara dengan masyarakat setempat.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang telah lebih dahulu dikumpulkan dan dilaporkan oleh orang di luar dari penyelidik sendiri, walaupun yang

dikumpulkan itu sesungguhnya adalah data asli. Sumber sekunder berisi data dari tangan kedua atau dari tangan ke sekian, yang bagi penyelidik tidak mungkin berisi data yang seasli sumber data primer

a. Data gelombang

Data gelombang diperlukan untuk mengetahui tinggi dan arah gelombang yang terjadi. Dari data tinggi gelombang inilah dicari tinggi gelombang pecah yang terjadi di pantai. Data tinggi gelombang pecah akan digunakan untuk prediksi angkutan sedimen yang terjadi, sehingga dapat digunakan sebagai prediksi perubahan garis pantai yang akan terjadi pada beberapa tahun kedepan.

Dalam penelitian ini data gelombang didapatkan dari kantor BMKG Stasiun Meteorologi Maritim (STAMMAR) Perak II Surabaya dengan tahun data 2012 dan 2013. Dikarenakan keterbatasan data, sedangkan untuk analisis gelombang dan perubahan garis pantai ini dibutuhkan setidaknya data gelombang 15 tahun terakhir, maka peneliti mengambil dan akan menggunakan data gelombang pengganti dari lembaga cuaca Eropa yang memiliki data base klimatologi dunia yaitu ECMWF, dengan alamat situs <http://ecmwf.int/>, dengan tahun data 1999-2014 yang terlebih dahulu divalidasi dengan data gelombang dari BMKG STAMMAR Perak II Surabaya.

b. Data angin

Data angin diperlukan dalam penentuan distribusi arah angin, kecepatan angin yang terjadi di lokasi. Selain itu data angin juga berfungsi untuk peramalan gelombang yang terjadi serta untuk mengetahui keadaan klimatologi setempat. Data angin yang digunakan pada penelitian ini



bersumber dari data base lembaga klimatologi Eropa ECMF yang beralamatkan <http://ecmwf.int/>.

3.4 Analisis Data

Pada tahapan analisis data dilakukan proses pengolahan data sebagaimana berikut ini:

3.4.1 Analisis Data Gelombang

- a. Data gelombang diolah dengan Microsoft Excel dengan langkah sebagai berikut:
 - 1) Data gelombang yang semula per-jam dirata-rata menjadi per-hari
 - 2) Dicari nilai H_s per- bulan
 - 3) Dicari nilai H_s per-tahun
- b. Dilakukan Validasi data tinggi gelombang dengan pengujian statistik Uji-T dan regresi antara data gelombang dari ECMWF dengan data gelombang dari BMKG STAMMAR Perak II Surabaya dengan tahun yang sama. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui varian data antara kedua data tersebut, sehingga nantinya dari hasil ini dapat dilihat apakah datagelombang dari ECMWF dapat menggantikan data dari BMKG.
- c. Dicari nilai tinggi gelombang signifikan (H_s disebut juga $H_{1/33}$) dengan persamaan berikut:

$$H_s = \sum_n^i H_{m0} \dots \dots \dots (iii)$$

$$n = 33\% \times N \dots \dots \dots (iv)$$

Dengan:

H_s : tinggi gelombang signifikan

H_{m0} : data tinggi gelombang yang telah diurutkan (terbesar ke terkecil)



n : jumlah 33% data

N : jumlah data tinggi gelombang

- d. Dicari tinggi gelombang di perairan pantai dengan pertimbangan refraksi (K_r) dan *Shoaling* (K_s) menggunakan persamaan berikut:

$$K_r = \sqrt{\cos \alpha_0 / \cos \alpha} \dots\dots\dots v$$

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_0}\right) \sin \alpha_0 \dots\dots\dots vi$$

$$C = L/T \dots\dots\dots vii$$

$$K_s = (n_0 * L_0 / n * L)^{1/2}$$

Dengan:

α_0 = Sudut gelombang datang terhadap garis pantai

C = Cepat rambat gelombang di laut dalam

C_0 = Cepat rambat gelombang di laut dangkal

n = Kedalaman relatif di laut dalam

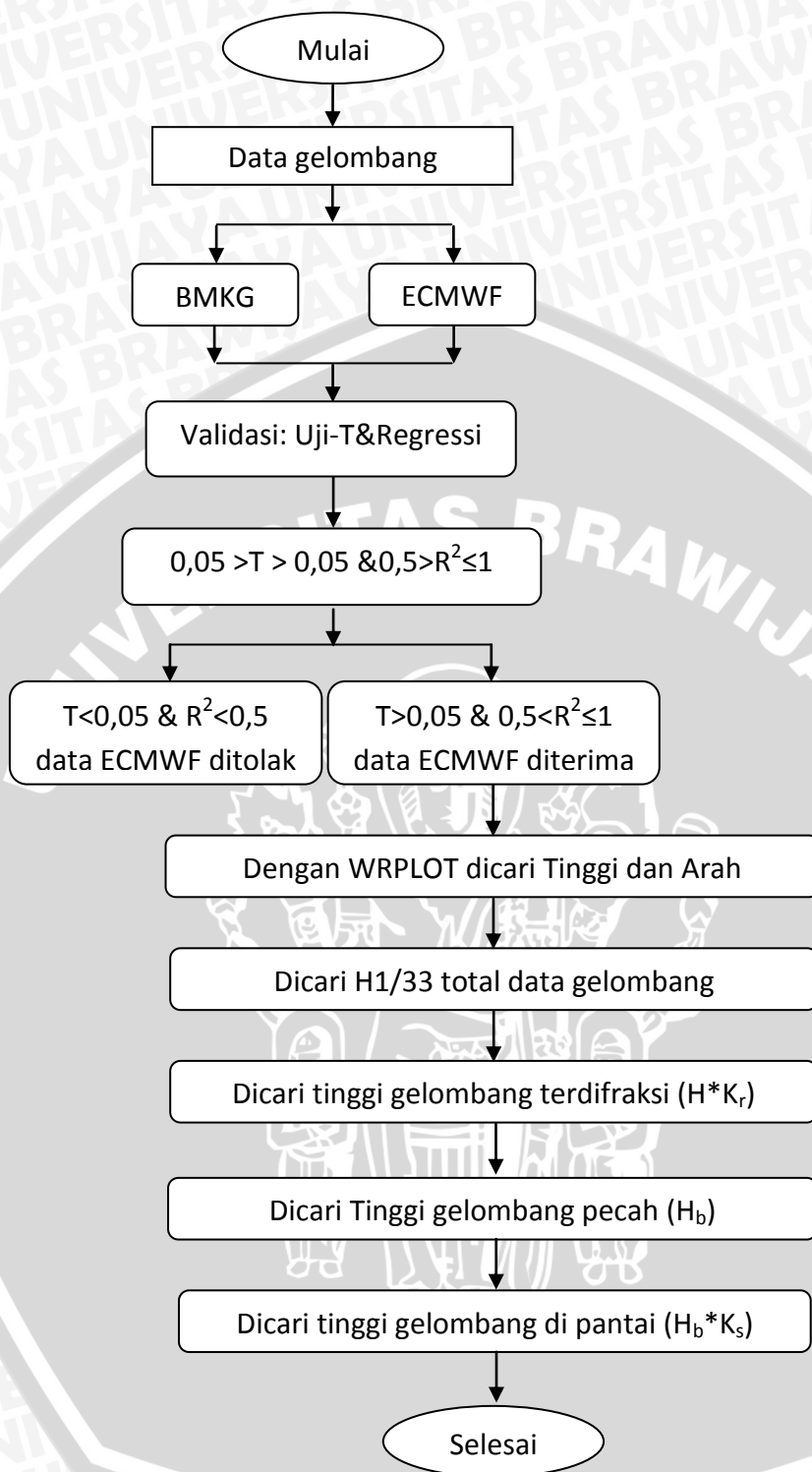
n_0 = Kedalaman relatif di laut dangkal

L = Panjang gelombang di laut dalam

L_0 = Panjang gelombang di laut dangkal

Untuk lebih jelas langkah kerja analisis gelombang disajikan dalam bentuk diagram alir. Gambar 10 adalah diagram alir proses analisis gelombang.





Gambar 10. Diagram alir proses pengolahan dan analisis data tinggi gelombang

3.4.2 Analisis Perubahan Garis Pantai Dengan Citra

Dalam penelitian ini analisis perubahan garis pantai yang telah terjadi dilakukan dengan cara menganalisis data citra satelit Quick Bird II yang

diperoleh dari Google Earth Pro dengan tahun data tahun 2013. Dengan menggunakan Google Earth Pro dilakukan digitasi pada garis pantai disaat laut sedang surut, selanjutnya hasil digitasi disimpan dalam format file .kml. Langkah selanjutnya dengan menggunakan *software* konversi yaitu *KML To Excell* file .kml dirubah kedalam format .excell untuk selanjutnya dapat diolah dengan Microsoft Excell. Dengan menggunakan Microsoft Excell garis pantai hasil digitasi dibandingkan dengan garis pantai terkini tahun 2014 hasil *tracking* dengan GPS dilapangan. Perbandingan kedua garis pantai tersebut dimaksudkan untuk mengetahui besar perubahan garis pantai yang terjadi dengan cara garis pantai tahun 2013 hasil digitasi dikurangi dengan koordinat garis pantai tahun 2014 hasil *tracking*. Selisih dari hasil pengurangan tersebut diubah kedalam satuan meter, dengan ketentuan 1° adalah 111.322 m, $1'$ adalah 1885 m, dan $1''$ adalah 31 m sehingga akan dapat ditemukan besar perubahan garis pantai dalam satuan meter.

3.4.3 Analisis Perkiraan Perubahan Garis Pantai dengan Model Numerik

Perkiraan perubahan garis pantai diperlukan untuk mengetahui perubahan garis pantai yang akan terjadi pada waktu yang akan datang. Perkiraan ini dapat diketahui dengan mengolah data tinggi gelombang pecah, sudut datang gelombang dan kemiringan pantai menggunakan model numerik *One line model*. *One line Model* merupakan salah satu model matematika yang dapat digunakan dalam mensimulasikan perubahan garis pantai. Dalam *One Line Model* diasumsikan bentuk profil garis pantai tidak berubah selama proses simulasi berlangsung. Dalam model ini garis pantai dibagi menjadi beberapa sel dan pada masing-masing sel akan dihitung angkutan sedimen yang masuk dan keluar (Nizam, 1986).

Berdasarkan cara kerja dari metode *One Line Model*, maka pertamakali wilayah pantai dibagi kedalam beberapa pias atau sel. Menurut Triatmodjo (1999) untuk mempermudah dalam perhitungan dan analisis sebaiknya wilayah pantai dibagi kedalam beberapa pias atau sel. Adapun dalam penelitian ini pantai dibagi kedalam 15 pias, berdasarkan bentuk profil pantai dengan lebar masing masing pias sebesar 100 m. Gambar 11 adalah pembagian pias dilokasi penelitian.



Gambar 11. Pembagian pias di lokasi penelitian (Google Earth, 2014).

Terdapat 15 pias dengan lebar masing-masing pias 100 meter.

Langkah selanjutnya dihitung angkutan sedimen yang terjadi pada setiap pias dengan menggunakan persamaan transport sedimen berikut:

$$Q_s = KP$$

$$P = \frac{\rho g}{8} H_b^3 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots \dots \dots (i)$$

Selanjutnya, setelah didapat debit angkutan sedimen maka dihitunglah perubahan garis pantai dengan menggunakan persamaan *One line Model* sebagai berikut:

$$Y^{n+1} = Y^n - \frac{\Delta t}{d \Delta x} (Q_{i+1}^n - Q_i^n) \dots \dots \dots (ii)$$

3.4.4 Analisis Laju Abrasi

Untuk mengetahui laju perubahan garis pantai maka dilakukan kajian data perubahan garis pantai pada setiap pias, karena setiap pias memiliki kecepatan perubahan garis pantai yang berbeda. Dalam penelitian ini data yang yang dibandingkan adalah sebagai berikut:

a. Laju perubahan garis pantai waktu lampau.

Yaitu perubahan garis pantai hasil perbandingan citra satelit Quick Bird II tahun 2013 dengan data garis pantai terkini tahun 2014 hasil *tracking*. Selanjutnya dilihat nilai perubahan yang terjadi pada setiap pias dan dianalisis.

b. Laju perubahan garis pantai waktu yang akan datang.

Yaitu laju perubahan garis pantai berdasar pemodelan numerik untuk waktu 10 tahun kedepan. Laju abrasi perpias dapat diketahui dengan melihat rata rata perubahan yang terjadi pada masing masing pias.

3.4.5 Analisis Penyebab Abrasi

Abrasi pantai sangat dipengaruhi oleh transpor sedimen. Pada umumnya jumlah material yang ditranspor sangat bergantung pada kekuatan gelombang (tinggi gelombang), sudut datang gelombang terhadap garis pantai, ukuran sedimen dan kemiringan pantai (Triatmodjo 1999).

Dalam sub-bab ini, untuk mengetahui penyebab abrasi di Pantai Desa Tlonto Raja perlu dilakukan kajian literatur dan kajian dari hasil penelitian.



3.4.6 Analisis Penanganan Abrasi

Pada sub-bab ini dilakukan pengkajian mengenai alternatif terbaik untuk mengatasi masalah abrasi yang telah terjadi. Kajian yang dilakukan meliputi efektifitas dari bangunan *sea wall* dan pemanfaatan pelindung alami yang ada di lingkungan sekitar, sebagai mana yang tertuang dalam poin pembahasan berikut.

a. Analisis Bangunan *Seawall*

Seawall adalah bangunan sejajar pantai yang dibuat relative tegak atau lengkung yang berfungsi untuk menahan gelombang yang mencapai pantai (Triatmodjo, 1999). Pada umumnya *sea wall* terbuat dari benda padat seperti kayu, batu maupun beton. Akan tetapi ada juga yang terbuat dari tumpukan karung yang berisi tanah merah sebagaimana yang terdapat di Pantai Desa Tlonto Raja.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis efektifitas *sea wall* tersebut dalam menahan hempasan gelombang yang datang, sehingga dapat menghentikan proses abrasi disana.

b. Pelindung Alami

Pelindung alami pantai merupakan pemanfaatan alam untuk menjaga kesetimbangan pantai, sebagaimana yang kita ketahui bahwasanya alam akan menjaga kesetimbangannya ketika tidak terganggu atau dirusak. Untuk itu upaya rehabilitasi alam pantai dengan menanam tumbuhan pantai seperti mangrove, cemara udang, kelapa pantai dan tumbuhan pantai lainnya akan menguatkan struktur pantai dengan akar-akarnya sehingga dapat mencegah abrasi, ataupun paling tidak dapat menghambat terjadinya abrasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum

Berikut ini adalah kondisi umum lokasi penelitian yang terbagi dalam beberapa bahasan:

4.1.1 Letak Geografis

Kabupaten Pamekasan terletak di tengah-tengah Pulau Madura di Propinsi Jawa Timur, tepatnya letak Kabupaten Pamekasan secara geografis adalah $113^{\circ} 1' 9'' - 113^{\circ} 3' 9''$ BT, dan $6^{\circ}30' 36'' - 7^{\circ} 1' 52''$ LS dengan luas wilayah $732,850 \text{ km}^2$. Kabupaten ini berbatasan dengan Laut Jawa di utara, Selat Madura di selatan, Kabupaten Sampang di barat, dan Kabupaten Sumenep di timur.

Secara administratif Kabupaten Pamekasan terbagi dalam 13 kecamatan, 11 kelurahan dan 178 desa. Pusat pemerintahannya ada di Kecamatan Pamekasan. Sebagian besar daratannya berupa dataran rendah, terdapat perbukitan ditengah-tengah mendekati pesisir utara dengan ketinggian daratan antara 6-350 meter di atas permukaan laut.

Desa Tlonto Raja secara administratif termasuk dalam wilayah Kecamatan Pasean, yaitu sebuah kecamatan di pesisir utara Kabupaten Pamekasan dengan kontur wilayah perbukitan dan lanskap pesisir di bagian utara. Begitu halnya Desa Tlonto Raja yang berbukit di bagian selatan dan dataran rendah pantai di bagian utara yang menjadikan wilayah pantai sebagai daerah pemukiman lebih padat dibandingkan dengan bagian selatan. Terdapat sungai yang bermuara di Pantai Utara yang oleh masyarakat digunakan sebagai jalur transportasi dan parkir kapal nelayan.

Lokasi penelitian terletak pada bujur $113^{\circ} 33'23''-113^{\circ}34'16''$ BT, lintang $6^{\circ} 53' 32''- 6^{\circ} 53' 37''$ LS. Sedangkan letak stasiun pengambilan data

sedimen dan kemiringan pantai adalah $113^{\circ} 33' 36''$ BT, $6^{\circ} 53' 34''$ LS untuk stasiun 1 serta $113^{\circ} 34' 05''$ BT, $6^{\circ} 53' 33''$ LS, stasiun 2.

4.1.2 Kondisi Morfologi Pantai Desa Tlonto Raja

Adanya interaksi yang kuat antara pengaruh darat dan laut menyebabkan wilayah pesisir menjadi labil. Adanya profil-profil alami seperti sungai, tanjung dan teluk ataupun buatan seperti bangunan yang menjorok akan mempengaruhi pola arus dan gelombang di sekitarnya

Desa Tlonto Raja memiliki karakter pantai yang relatif landai dengan substrat pasir putih halus dan terdapat batu karang dibawahnya. Ketika dilakukan pengamatan dilokasi, kemiringan pantai (kp) dihitung dengan cara membandingkan selisih ketinggian (h) dan jarak (s) antara pasang tertinggi dan surut terrendah. Selanjutnya nilai perbandingan tersebut dengan menggunakan hukum trigonometri diubah kedalam bentuk derajat ($^{\circ}$) sebagaimana berikut.

$$\begin{aligned}\text{Stasiun A:} \quad & h=0,8 \text{ meter dan } s=13 \text{ meter,} \\ & Kp= \sin (h/s) = \sin (0,8/13) \\ & = \sin 0,061=5^{\circ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Stasiun B:} \quad & h=0,9 \text{ meter dan } s=12 \text{ meter,} \\ & Kp= \sin (h/s) = \sin (0,9/12) \\ & = \sin 0,067= 5,7^{\circ}\end{aligned}$$

Disamping karakter pantai yang landai di Pantai Desa Tlonto Rajaterdapat satu sungai besar yang bermuara di laut yaitu Sungai Angsokah oleh masyarakat setempat sungai ini digunakan untuk sarana parkir kapal nelayan, untuk itulah dibangun *jetty* di bibir Sungai Angsokah menjorok kelaut sejauh 50 meter guna memperlancar aliran sungai serta memperkecil gelombang serta mengurangi sedimen yang masuk ke sungai.

Namun seiring berjalanya waktu keberadaan *jetty* tersebut malah berdampak terhambatnya aliran sedimen sepanjang pantai. Selain itu diperparah dengan adanya aktifitas masyarakat yang menambang pasir di timur sungai, sehingga suplai sedimen ke arah barat berkurang sehingga terjadi erosi atau abrasi ketika gelombang tinggi.

4.1.3 Kondisi Geologi Pantai Desa Tlonto Raja

Daratan di Madura umumnya landai dan agak bergelombang mendekati pantai utara sebagaimana di Pulau Jawa. Tanah di Pulau Madura didominasi tanah kapur atau biasa disebut tanah gamping sehingga menjadikan tanah di Madura kurang subur untuk pertanian. Sedangkan untuk daratan pantai Utara Madura memiliki karakter landai seperti Pantai Utara Jawa, dengan sedimen penyusun berupa pasir halus bercampur lumpur dan tanah liat. Namun di beberapa bagian pantai terdapat pantai dengan lantai batuan karang dan hanya terdapat sedikit pasir halus di atasnya. Hal ini dimungkinkan terjadi karena penyusutan atau tergerusnya daratan.

Tabel 3. Sebaran ukuran Sedimen

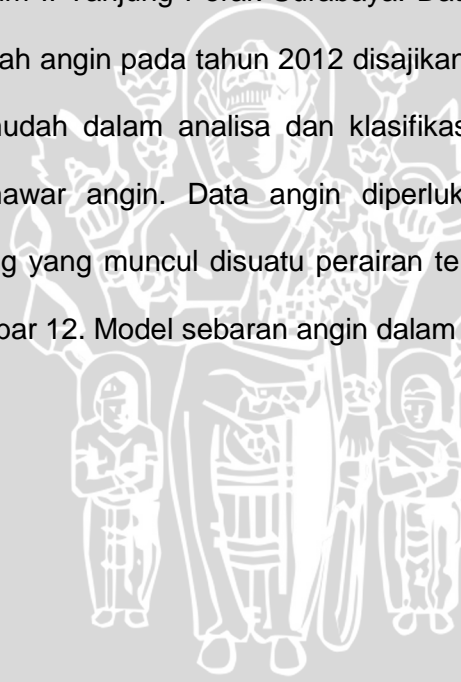
Klasifikasi dan Ukuran Sedimen	Stasiun	
	1	2
Krikil (>4 mm)	0%	0%
Pasir Sangat Kasar (1-2 mm)	11%	9%
Pasir Kasar (0.5-1 mm)	21%	18%
Pasir Sedang (0.25-0.5 mm)	35%	31%
Pasir Halus (0.125-0.25 mm)	17%	20%
Pasir Sangat halus (0.0625-0.125 mm)	9%	11%
Lumpur (0.0039-0.0625 mm)	4%	5%
Lempung (<0.0039 mm)	3%	6%

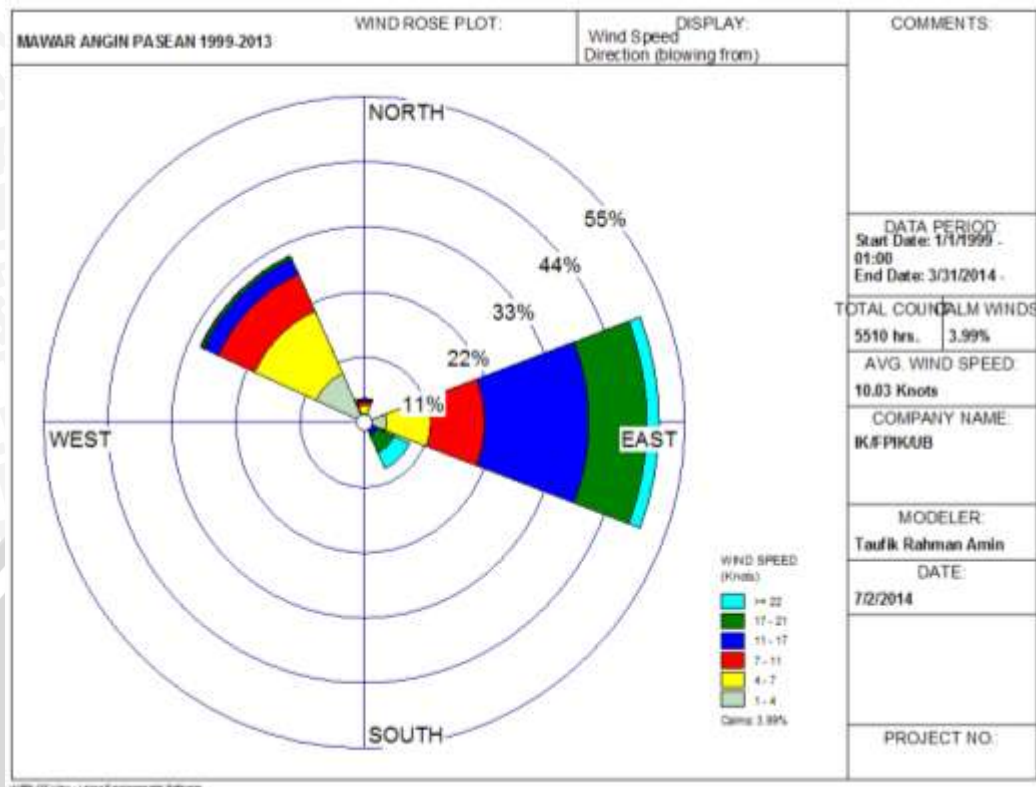
4.1.4 Kondisi Meteorologi Pantai Desa Tlonto Raja

Pasean berbatasan langsung dengan Laut Jawa, yang mana iklim Laut Jawa sangat besar dipengaruhi angin muson. Angin muson

merupakan angin yang berhembus secara periodik dari Selatan Asia menuju Australia melewati Indonesia dan sebaliknya. Angin muson sangat mempengaruhi musim di daerah yang dilaluinya, saat angin muson barat Indonesia mengalami musim hujan terjadi pada bulan Oktober-April. Sedangkan muson timur adalah kebalikan dari muson barat terjadi pada bulan april-Oktober dan Indonesia mengalami musim kemarau. Adanya siklus muson menjadikan Laut Jawa mengalami fluktuasi frekuensi, volume dan kekuatan hembusan angin.

Dalam penelitian ini data angin didapat dari kantor BMKG Stasiun Meteorologi Maritim II Tanjung Perak Surabaya. Data persentase kejadian, kecepatan dan arah angin pada tahun 2012 disajikan dalam Tabel 4. Selain itu untuk lebih mudah dalam analisa dan klasifikasi data angin disajikan dalam bentuk mawar angin. Data angin diperlukan untuk mengetahui kondisi gelombang yang muncul disuatu perairan terutama tinggi dan arah gelombang. Gambar 12. Model sebaran angin dalam *wind rose*.

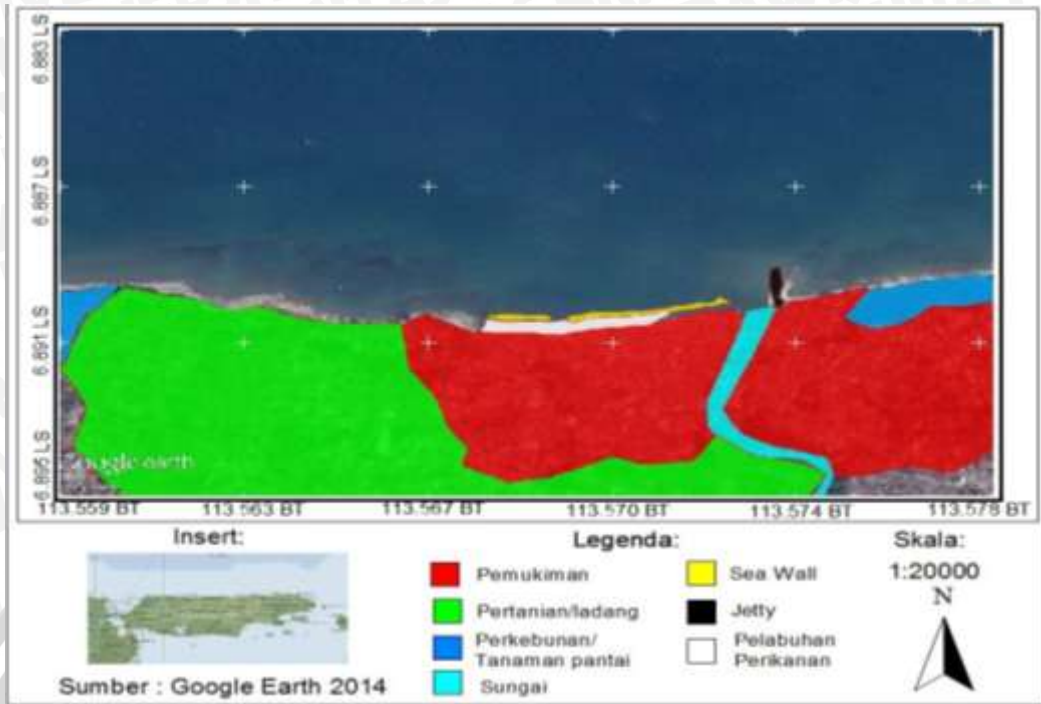




Gambar 12. Mawar angin di Pasean tahun 1999-2013.

4.1.5 Kondisi Tataguna Lahan

Penggunaan lahan di Pesisir Desa Tlonto Raja Secara dominan adalah untuk pemukiman dan pertanian, ada bagian kecil yang digunakan untuk kegiatan pelabuhan perikanan, pasar, dan transportasi air. Gambar 13 adalah Peta pemanfaatan lahan pantai di Desa Tlonto Raja.



Gambar 13. Peta penggunaan lahan di Desa Tlonto Raja. (Google Earth,2014)

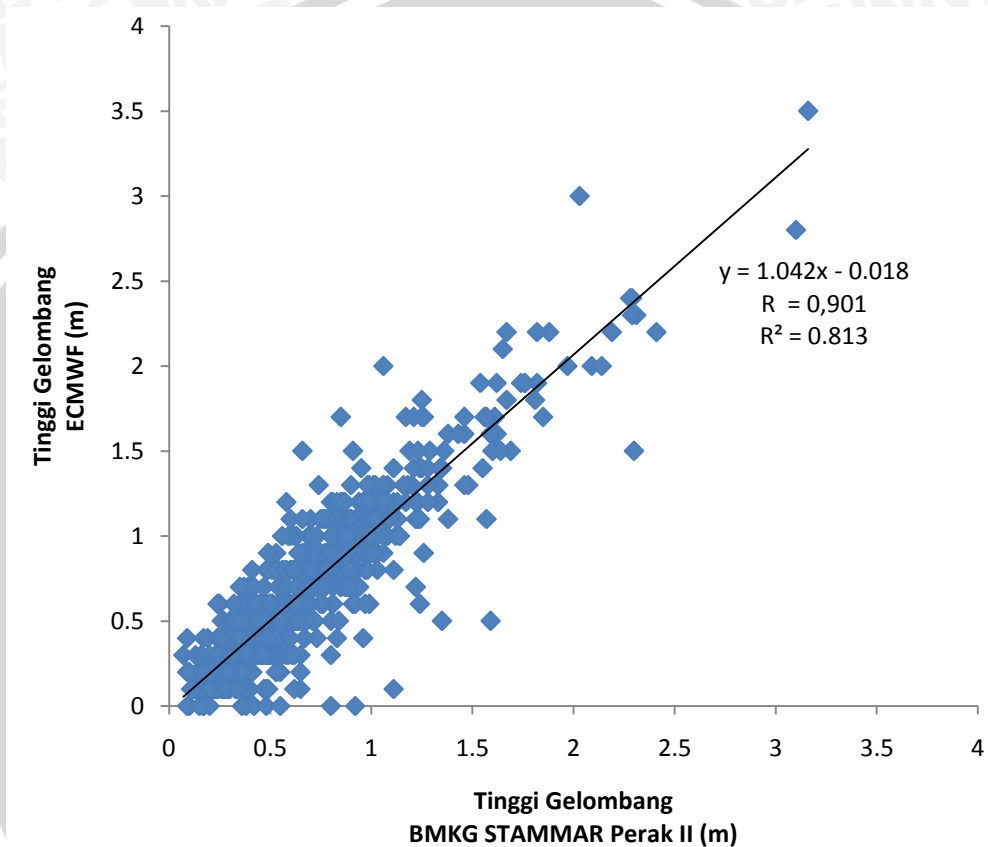
4.1.6 Kondisi Gelombang Pantai Desa Tlonto Raja

a. Validasi Data Gelombang

Lingkungan pantai merupakan daerah yang selalu mengalami perubahan secara lambat maupun cepat tergantung pada kemampuan pantai dalam menjaga bentuknya dan daya gelombang yang terjadi. Untuk itu data frekuensi gelombang-gelombang besar yang terjadi sangatlah penting untuk dasar kajian pengelolaan pantai. Dalam penelitian ini data gelombang yang digunakan adalah data 15 tahun terakhir. Adapun data bersumber dari Kantor BMKG STAMMAR Perak II Surabaya dengan tahun data 2012 dan 2013. Dikarenakan ketersediaan data kurang maka digunakan datagelombang dari ECMWF dengan tahun data 1999-2013 sebagai pengganti.

Sebelum dilakukan kajian data gelombang, terlebih dahulu kedua data tersebut dilakukan validasi data. Validasi data dilakukan dengan analisis GMFR karena kedua data tidak diketahui dengan pasti data mana sebagai

data *independent* (variable bebas) dan data *dependent* (variable terikat). Nilai hubungan kedua data dapat diketahui dengan koefisien korelasi dan koefisien regresi (Garret dan Petrie, 1981 dalam Sari, 2014). Gambar 14 adalah diagram regresi data tinggi gelombang ECMWF dan data tinggi gelombang BMKG STAMMAR Perak II Surabaya tahun 2012-2013.



Gambar 14. Diagram Regresi tinggi gelombang dari BMKG dan ECMWF Th. 2013-2014.

Dari diagram regresi antara ECMWF dan BMKG pada Gambar 14 dapat disimpulkan bahwa nilai korelasi (R) dan regresi (R^2) masing masing adalah 0,901 dan 0,813, artinya kedua data memiliki hubungan yang kuat dan kedua data dapat saling menggantikan.

Langkah selanjutnya kedua data tersebut di Uji T. Uji T dimaksudkan untuk melihat kesamaan mean (rata-rata) antara kedua data. Tabel 4 adalah hasil Uji T antara data dari BMKG dengan data dari ECMWF.

Tabel 4. Hasil Uji T statistik data tinggi gelombang dari ECMWF dan BMKG.

Sumber data tinggi gelombang	N	Mean	Standar deviasi	Standar error	T
ECMWF	731	0,7030	0,49584	0,01834	0,470
BMKG	731	0.6916	0,42898	0,01587	0,470

Dalam Uji Tini digunakan hipotesis sebagai berikut:

- H_0 : Tidak ada perbedaan data tinggi gelombang BMKG dan ECMWF
- H_1 : terdapat perbedaan data tinggi gelombang BMKG dan ECMWF

Sedangkan untuk mengetahui hasil Uji T, uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Jika $T > 0,05$ maka H_0 diterima
- Jika $T < 0,05$ maka H_0 ditolak

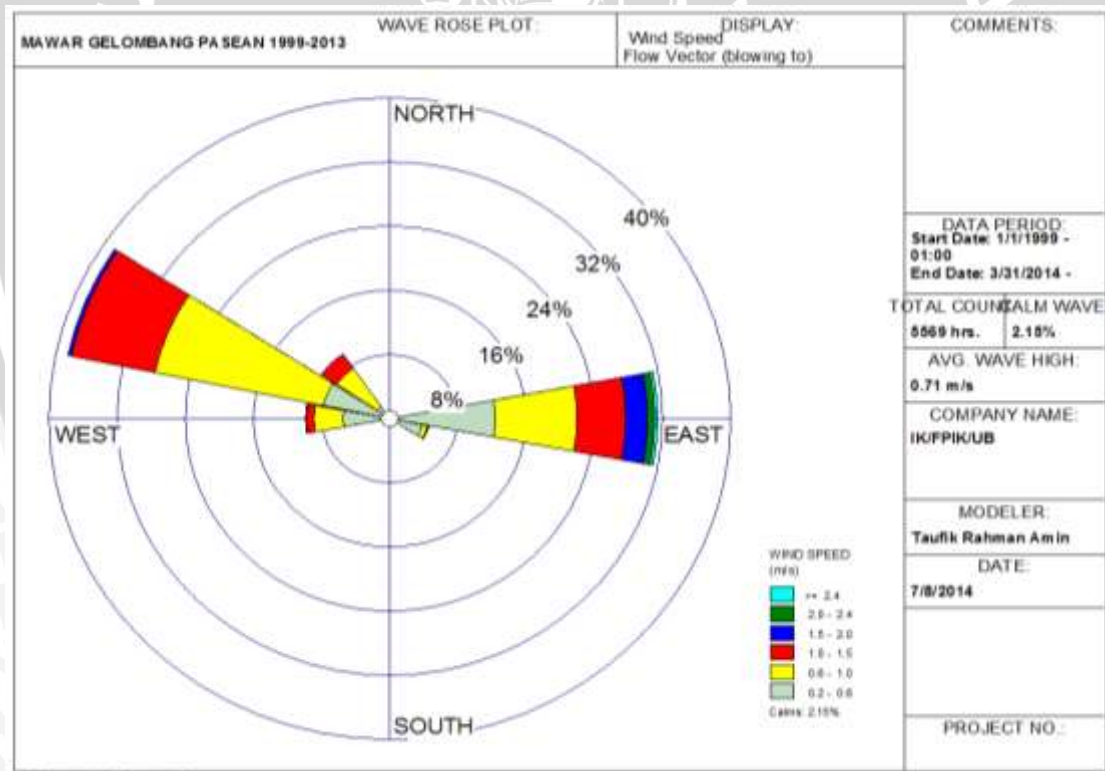
Berdasarkan hasil Uji-T didapatkan bahwa nilai T adalah sebesar 0,475 ($T > 0,05$) artinya kedua data tidak berbeda nyata. Hal ini dapat dibuktikan dari selisih rata-rata dari kedua data tersebut sangatlah kecil yaitu selisih 0,011. Dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa data tinggi gelombang dari BMKG dan ECMWF setelah dilakukan analisis Korelasi dan Uji T didapatkan hasil tidak ada perbedaan yang nyata maka data tinggi gelombang signifikan dari ECMWF dapat digunakan mewakili data dari BMKG STAMMAR II Perak Surabaya

Metode ini pernah dilakukan oleh Schlussek *et al* (1987) dalam Sari (2014) yang mengkaji suhu permukaan laut (SPL) dengan menggunakan data dari satelit dan radiometer pada kapal. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *infrared satellite* SPL yang telah dikoreksi dapat digunakan untuk estimasi data lapang. Dengan metode serupa maka data tinggi gelombang ECMWF dapat menggantikan data dari BMKG.

Keakuratan penggunaan data ECMWF juga ditegaskan oleh Trenworth dan Oldon (1988) dalam Sari (2014) yang menyatakan bahwa data angin permukaan yang berasal dari ECMWF merupakan data angin terbaik yang dapat digunakan untuk analisis operasional umum secara global. Maka dari itu berdasarkan uji yang telah dilakukan dan literature yang ada maka data tinggi gelombang signifikan dari ECMWF dapat menggantikan data dari BMKG.

b. Tinggi dan Arah Gelombang Dominan

Setelah pengujian statistik dan diputuskan untuk menggunakan data tinggigelombang dari ECMWF, selanjutnya data gelombang diolah dengan software Wind Rose Plot untuk ditampilkan dalam bentuk mawar gelombang seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Mawar gelombang di Pasean tahun 1999-2003

Apabila melihat hasil tampilan mawar gelombang pada Gambar 14, maka dapat disimpulkan bahwasanya arah gelombang dilaut dalam secara besar mengarah ke barat sebesar 63%, 23% ke tenggara, 10% mengarah ke



timur dan 3% ke selatan dan 1 persen tidak teridentifikasi. Sedangkan jika dilihat tinggi gelombang maka tinggi gelombang paling dominan adalah berkisar antara 0,6-1 meter sebanyak 39,5%, disusul 0,2-0,6 meter sebesar 35,11%. Nilai rata-rata tinggi gelombang adalah 0,8 meter dengan tinggi maksimum mencapai 3,17 meter. Sedangkan nilai *calms* sebesar 2.15% merupakan data gelombang dengan nilai tinggi dibawah 0,2 meter.

c. Pehitungan tinggi gelombang signifikan ($H_{1/33}$)

Setelah didapatkan data gelombang dalam beberapa tahun terakhir, selanjutnya dicari nilai tinggi gelombang signifikan dari seluruh data yang ada. Untuk mencari nilai tinggi gelombang signifikan dari seluruh data terlebih dahulu dicari tinggi gelombang signifikan pertahun dengan cara data tinggi gelombang pertahun diurutkan dari nilai yang terbesar hingga yang terkecil, selanjutnya diambil 1/33 data terbesar dan dirata-rata, sehingga didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan pertahun. Selanjutnya untuk tinggi gelombang signifikan dari keseluruhan data dicari dari tinggi gelombang signifikan pertahun dengan cara yang sama dalam mencari tinggi gelombang signifikan pertahun. Tabel 5 adalah adalah nilai gelombang signifikan ($H_{1/33}$) pertahun selama 15 tahun terakhir.

Tabel 5. Data tinggi gelombang Signifikan 15 tahun terakhir.

Th	H signifikan per tahun
1999	1.22
2000	1.18
2001	1.19
2002	1.06
2003	1.16
2004	1.18
2005	1.06
2006	1.23
2007	1.22
2008	1.41
2009	1.14

Th	H signifikan per tahun
2010	1.03
2011	1.21
2012	1.17
2013	1.27

Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan dari total data tinggi gelombang selama 15 tahun dari 1999-2013 adalah sebesar 1,27 meter. Perhitungan tinggi gelombang signifikan secara detail terlampir, Lampiran 1.

d. Refraksi, shoaling dan Gelombang Pecah

Data gelombang yang didatangkandari BMKG maupun ECMWF berasal dari perkiraan hasil pemodelan angin 10 meter di atas permukaan laut hanya berlaku di laut dalam. Untuk itu supaya data tinggi gelombang ini dapat digunakan di perairan dangkal perlu dilakukan konversi sesuai dengan perubahan gaya yang berlaku seiring berubahnya kedalaman. Secara umum perubahan gaya yang muncul adalah refraksi, yaitu perubahan arah gelombang karena berkurangnya kecepatan sehingga gelombang berbelok kearah tegak lurus dengan kontur perairan dangkal.

Berdasarkan hasil analisa didapatkan hasil bahwa arah gelombang destruktif yang terjadi dominan mengarah ke timur, sehingga apabila pada pias 5 dianggap kontur dasar pantai adalah seragam, tinggi gelombang signifikan 1,27 m., perbandingan tinggi dan jarak adalah 0,025, sudut antara gelombang datang dengan garis kontur (α_0) 15° dan periode gelombang (T) 8 detik, maka dihitung nilai K_r dengan langkah sebagai berikut:

$$\sin \alpha = \left(\frac{c}{c_0}\right) \sin \alpha_0$$

$$d/L_0$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$L_o = 1,56T^2$$

$$= 1,56 \cdot 64 = 99,84;$$

$$C = L/T$$

$$C_o = L_o/T$$

$$= 99,84/8 = 12,5 \text{ m/d}$$

Laut Jawa memiliki kontur dasar yang landai, sehingga gelombang pecah terjadi di zona laut transisi, untuk itu dicari kedalaman perairan tepat pada titik saat pengambilan data tinggi gelombang. Berdasarkan peta dari BP3K (2005) dalam Rovicky (2006), (Lampiran 3) kedalaman pada titik pengambilan data gelombang adalah 25 meter, maka:

$$d/L_o = 25/99,84 = 0,25;$$

Selanjutnya untuk mencari nilai d/L_o diatas, dicari dengan bantuan Tabel L-1, fungsi d/L untuk penambahan d/L_o (Tabel terlampir, Lampiran 2) sehingga didapat:

$$d/L = 0,267$$

$$L = 25/0,267 = 93,681$$

$$C = 93,681/8 = 11,71 \text{ m/d};$$

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_o}\right) \sin \alpha_o$$

$$\sin \alpha = \left(\frac{11,71}{12,5}\right) \sin 15$$

$$= 0,24$$

$$\alpha = 14^\circ$$

$$K_r = \sqrt{\cos \alpha_o / \cos \alpha}$$

$$= \sqrt{\cos 15 / \cos 14}$$

$$= 1;$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan koefisien refraksi (K_r) adalah 1,02, sehingga tinggi gelombang setelah terjadi pembelokan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H'_o &= K_r H_o \\ &= 1 \times 1,27 \text{ m} \\ &= 1,27 \text{ m} \end{aligned}$$

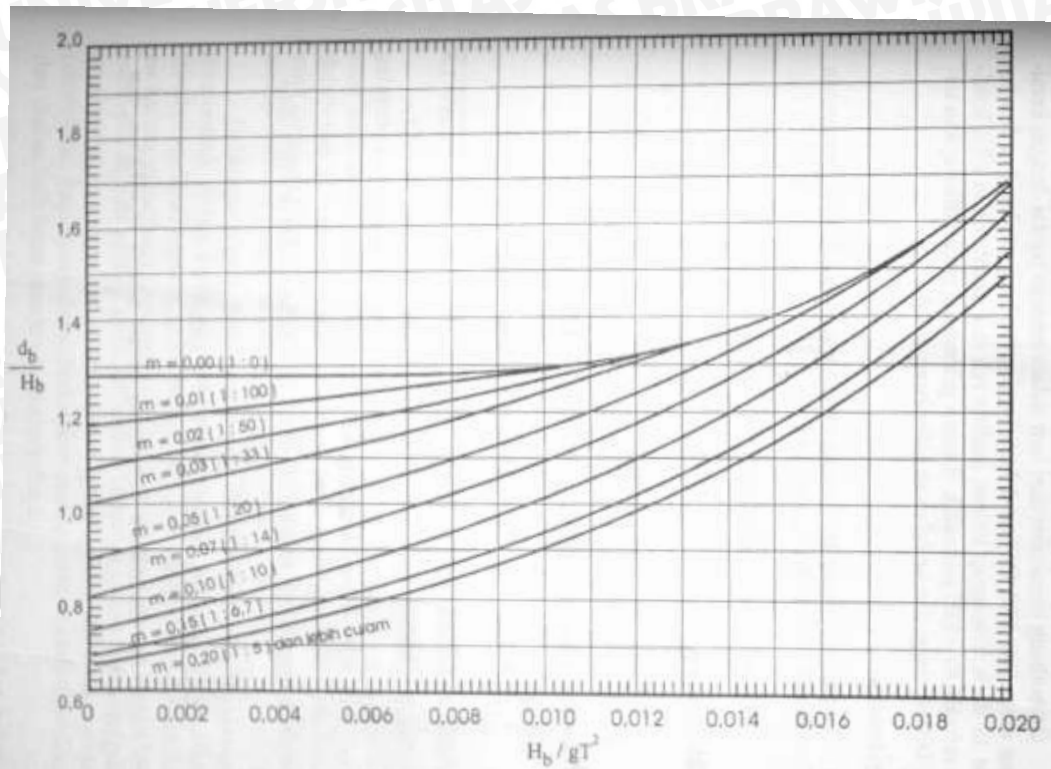
Selanjutnya dicari tinggi gelombang pecah di pantai sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H'_o/gT^2 &= 1,27/9,81 \times 64 \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan bantuan diagram persamaan perbandingan antara H'_o/H_b dengan H'_o/gT^2 yang terdapat pada Gambar 14, maka dengannilai perbandingan kemiringan pantai adalah 1:40 atau $m=0,025$ didapatnilai H'_o/H_b adalah 1,450. Dengan demikian nilai $H_b = H'_o \times 1,450$ yaitu 1,778 meter. Sedangkan untuk tinggi gelombang pecah di pantai, maka perlu diperhatikan aspek pendangkalan gelombang (*shoaling*). Untuk menghitung Koefisien pendangkalan (K_s), dicari nilai n dengan menggunakan Tabel L-1 (Lampiran 2) berdasar nilai d/L_o dan didapat nilai $n=0,616$. Di laut dalam nilai $n_o = 0,500$; sehingga $K_s = (n_o * L_o / n * L)^{1/2}$

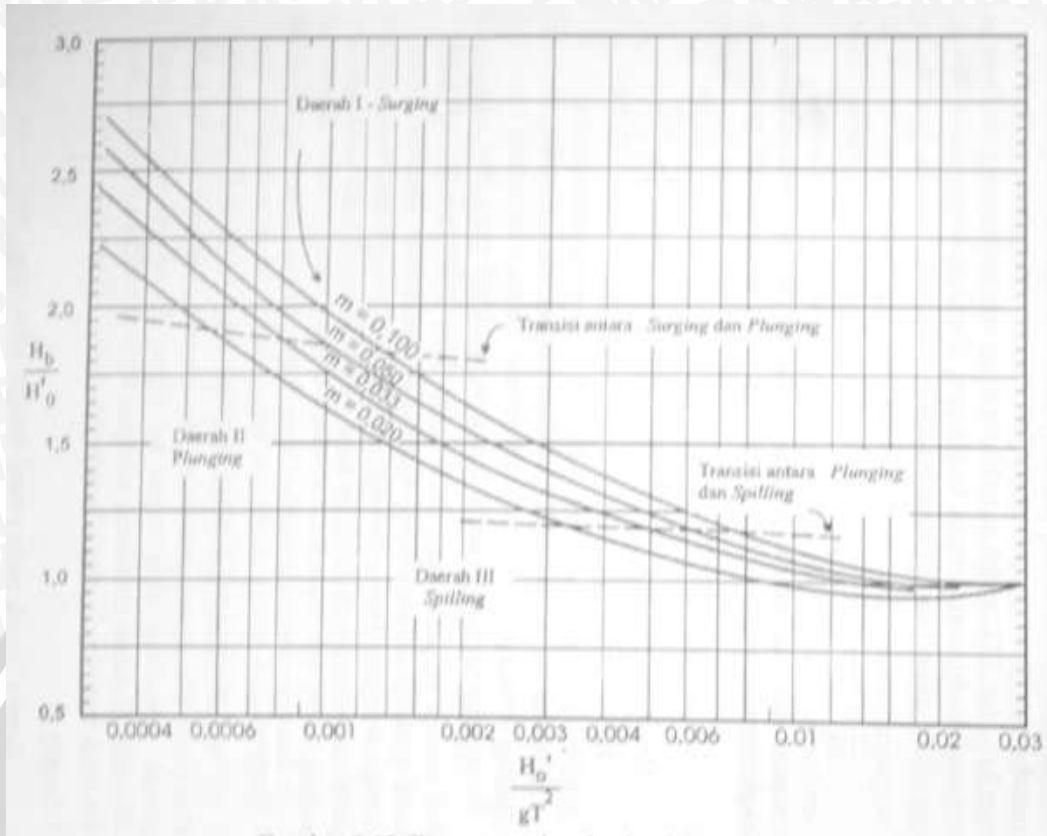
$$\begin{aligned} K_s &= (0,500 * 99,841 / 0,616 * 93,681)^{1/2} \\ &= 0,932 \end{aligned}$$

Sehingga tinggi gelombang pecah di pantai adalah $H_b * K_s = 1,778 \text{ m} * 0,932 = 1,657 \text{ m}$.



Gambar 16. Grafik perbandingan H'_o/H_b dengan H'_o/gT^2 (Triatmodjo, 1999)

Setelah didapatkan nilai gelombang pecah, langkah selanjutnya adalah dicari kedalaman dari gelombang pecah (d_b). penentuan kedalaman gelombang pecah dapat diketahui dengan bantuan persamaan grafik Hubungan antara H_b/gT^2 dengan d_b/H_b pada Gambar 13, diperoleh $H_b = 1,657$ meter; $H_b/gT^2 = 1,657 / 9,81 \times 64 = 0,002$; $d_b/H_b = 1,1$; sehingga nilai kedalaman gelombang disaat pecah (d_b) adalah $1,657 \times 1,1 = 1,877$ meter. Untuk lebih jelas perhitungan gelombang pada setiap pias dapat dilihat dalam Lampiran 4.



Gambar 17. Grafik Hubungan antara H_b/gT^2 dengan d_b/H_b (Triatmodjo, 1999).

4.2 Perubahan Garis pantai

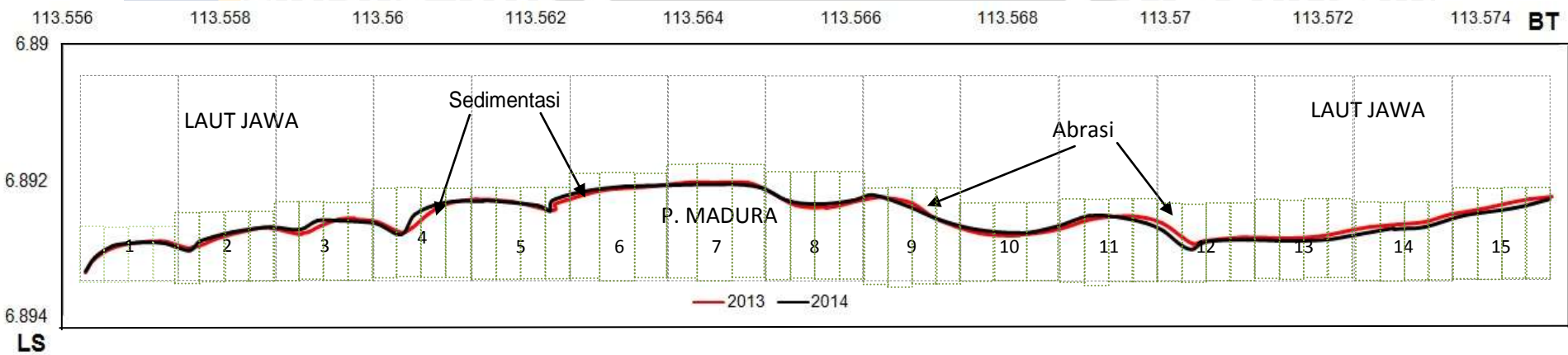
Perubahan garis pantai merupakan pergseran maju atau mundur titik pasang tertinggi dari suatu pantai. Perubahan garis pantai akan memberikan dampak yang cukup besar bagi lingkungan pantai baik secara biologis maupun fisiologis. Untuk itu perlu adanya pemantauan rutin terhadap garis pantai, terutama pantai yang berdekatan dengan pemukiman, sehingga diharapkan dapat memberikan informasi untuk lingkungan sekitar.

Dalam hal ini kita menggunakan definisi garis pantai adalah titik pertemuan darat dan laut saat pasang tertinggi (*coastline*). Hal ini didasari untuk mendapatkan kemungkinan paling aman, karena dalam penelitian ini aspek peninggian gelombang (*wave set up*) tidak digunakan.

4.2.1 Perubahan Garis Pantai Yang Telah terjadi.

Untuk analisis perubahan garis pantai yang telah terjadi pada tahun sebelumnya digunakan data citra satelit Quick Bird II yang terdapat pada Google Earth Pro. Dalam analisis ini digunakan data citra tahun 2013 yang didigitasi langsung pada Google Earth Pro. Hasil digitasi disimpan dalam bentuk *file* .kml yang selanjutnya sehingga akan terlihat perbedaan atau perubahan garis pantai yang terjadi pada ketiga peta tersebut. Langkah terakhir dilakukan analisa seberapa besar perubahan yang terjadi dengan melihat besar jarak pergeseran koordinat yang terjadi dari ketiga peta ditambah dengan data garis pantai yang terkini hasil *tracking*, dan selanjutnya dihitung pergeseran yang terjadi dalam bentuk derajat kemudian dikonversi kedalam meter besar pergeseran tersebut (Lampiran 5) dan perbandingan perubahan garis pantai tahun 2004-2014 Gambar 17.



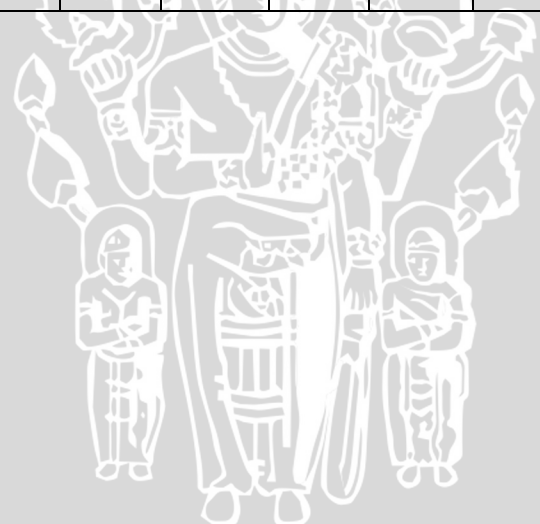


Gambar 18. Perubahan Garis Pantai tahun 2013 (merah) dan 2014 (hitam).



Tabel 6. Besar Perubahan garis pantai berdasar citra satelit Quick Bird II dari Goggle Earth tahun 2013 dan *tracking* tahun 2014.

No Pias		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Perubahan Garis Pantai	Sub pias (m)	2,5	-1	2	-2	-3	4	-2	-1	2,5	2,5	2,5	-5	-3	-2	-3
		2,5	3	4	5	-3	2,5	-3	3	-3	2	3	-4	-3	-1,5	-2
		1	2	-2	3	-2	1,5	-2	3	-2,5	2,5	0	-3	-4	-2	-3
		-2	1	-2	1	2		-2	2	-1		-3	-3	-3	-4	-3
	Rata-Rata ± Standar Deviasi (m)	1 ±0,94	1,25± 0,85	0,5 ± 1,5	1,75 ±1,49	-0,75 ±0,94	2 ±0,84	-2,25 ±0,25	1,75 ±0,94	-1 ±1,24	1,75 ±0,59	0,6 ±1,3 7	-3,75 ±0,47	-3,25 ±0,25	-2,3 ±0,55	-2,75 ±0,25



Dari perbandingan garis diatas dapat diketahui bahwa garis pantai mengalami perubahan relatif linier, atau dengan pola yang hampir sama hanya saja pada tiap-tiap pias berbeda kecepatan atau laju abrasinya.

4.2.2 Prediksi Perubahan Garis Pantai

Pediksi perubahan garis pantai dilakukan untuk memperkirakan perubahan garis pantai pada kondisi yang akan datang berdasarkan data gelombang yang ada dan keadaan pantai sekarang. Dengan menggunakan data gelombang pecah maksimum selama lima belas tahun terakhir dihitung jumlah angkutan sedimen yang terjadi di sepanjang pantai dalam kurun waktu tertentu. Dalam penelitian ini untuk perkiraan perubahan garis pantai hanya diberikan di pantai yang belum memiliki dinding pengaman pantai atau *seawall*. Sedangkan *seawall* sendiri dianalisis mengenai kekuatan dan umur dari *seawall* tersebut. Untuk ukuran lebar per-pias / sel adalah 100 meter berdasarkan bentuk profil pantai, sehingga dalam penelitian ini terdapat total 15 pias sebagaimana pada Gambar 11.

Setelah ditentukan pembagian pias atau sel, selanjutnya dihitung nilai kapasitas angkutan sedimen di sepanjang pantai (Q_s). Nilai Q_s dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = K P$$

$$K = \text{Konstanta CERC (0,401)}$$

$$P = (\rho g H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b) / 8$$

$$C_b = \text{Cepat rambat gelombang pecah (m/d)} = \sqrt{gd}$$

jika diketahui massa jenis air (ρ) 1030 kg/m^3 ; gravitasi (g) $9,81 \text{ m/d}^2$; gelombang pecah (H_b) $1,657 \text{ m}$; kedalaman gelombang disaat pecah (d_b) $1,822 \text{ m}$; dan sudut datang gelombang (α_b) 30° maka nilai Q_s adalah:

$$Q_s = 0,401 P$$

$$P = 1,03 \times 1,657^2 \times \sqrt{9,810 \times 1,822} \times \frac{1}{2} \sin (2 \times 25) / 8$$

$$= 0,52t\text{-m/d/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times 0,52t\text{-m/d/m}$$

$$= 0,21 \text{ m}^3/\text{d}$$

Sehingga dalam satu hari nilai angkutan sedimen sepanjang pantai (Q_s) adalah $0,21 \times 24 \times 3600 \times 365 = 2183592.7 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Untuk lebih detail perhitungan angkutan sedimen pada setiap pias dapat dilihat pada Lampiran

6.

Tabel 7. Hasil perhitungan angkutan sedimen dalam satu tahun.

pias	ρ	αb	Hb	Cb	$2s\sin\alpha$	$P(\rho \cdot Hb^* Cb \cdot 2s\sin\alpha \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 / 16)$	$Q(P \cdot 0,401)$
1	1,03	20	2,12	4,93	0,64	4526529,43	1810611,8
2	1,03	20	2,12	4,93	0,64	4526529,43	1810611,8
3	1,03	15	2,09	4,90	0,5	3465093,55	1386037,4
4	1,03	20	2,12	4,93	0,64	4526529,43	1810611,8
5	1,03	25	2,14	4,96	0,76	5458981,67	2183592,7
6	1,03	10	2,08	4,89	0,34	2340203,93	936081,57
7	1,03	30	2,18	5,00	0,86	6343479,50	2537391,8
8	1,03	15	2,09	4,90	0,5	3465093,55	1386037,4
9	1,03	20	2,12	4,93	0,64	4526529,43	1810611,8
10	1,03	35	2,22	5,22	0,93	7293047,13	2917218,9
11	1,03	10	2,08	4,89	0,34	2340203,93	936081,57
12	1,03	20	2,12	4,93	0,64	4526529,43	1810611,8
13	1,03	25	2,14	4,96	0,76	5458981,67	2183592,7
14	1,03	30	2,18	5,00	0,86	6343479,51	2537391,8
15	1,03	35	2,22	5,22	0,93	7293047,13	2917218,9

Setelah didapatkan nilai angkutan sedimen setiap pias/sel, maka selanjutnya dilakukan perhitungan transpor sedimen secara total disepanjang pantai dengan menggunakan persamaan ii. Namun sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu sumber sedimen dan sedimen yang hilang pada masing-masing pias. Penentuan sumber sedimen dapat dilakukan dengan melihat letak pias terhadap sudut gelombang datang. Sebagaimana

pembahasan mengenai gelombang pada sub bab sebelumnya, diasumsikan gelombang mengarah ke barat. Dari sini dapat disimpulkan bahwasanya transpor sedimen berasal dari timur kebarat, sehingga perhitungan dimulai dari timur yaitu pias 15 sebagai sumber sedimen pias 14, pias 14 sebagai sumber sedimen pias 13 dan seterusnya sampai pada pias nomor 2 sebagai sumber sedimen pias 1.

Setelah ditentukan sumber sedimen transpor, selanjutnya dihitung perubahan garis pantai yang terjadi berdasarkan angkutan sedimen dengan metode beda hingga pada persamaan ii.

$$Y^{n+1} = Y^n - \frac{\Delta t}{d \Delta x} (Q_{i+1}^n - Q_i^n)$$

$$Y^5 = Y^{5+1} - 1 * 0,002 / 2,57 * 100 (2169094.84 - 2262264.12)$$

$$= Y^{5+1} - (6.066)$$

$$= Y^{5+1} - 6.066$$

Perhitungan di atas merupakan perubahan garis pantai pada pias 5 dalam kurun waktu 1 tahun terjadi abrasi sebesar 6.066 meter. Berikut ini tabel 8 adalah perubahan garis pantai dalam kurun waktu 1 dan 2 tahun kedepan. Perkiraan perubahan garis pantai hanya berlaku untuk pantai dengan kondisi yang sama saat dilakukan penelitian, terutama pada faktor-faktor yang berpengaruh dalam angkutan sedimen pantai, seperti tinggi gelombang, kemiringan pantai, sudut datang gelombang dan ukuran sedimen. Gambar perkiraan perbandingan perubahan garis pantai terlampir (Lampiran 6) dan gambar perbandingan perubahan garis pantai tahun 2014, 2015 dan 2016 (Gambar 19).

Tabel 8. Perubahan garis pantai dengan kala ulang.

pias	P	Q	Δx	db	ΔQ	$-\Delta y$	$-\Delta y^2$
1	4.830	2262264.12	100	1.877	-93169.278	-1.418	-2.836
2	4.631	2169094.84	100	1.873	-366887.064	-5.597	-11.194
3	3.848	1802207.78	100	1.879	173915.166	2.644	5.289
4	4.219	1976122.94	100	1.878	179458.908	2.730	5.460
5	4.602	2155581.85	100	1.879	398974.109	6.066	12.132
6	5.454	2554555.96	100	1.873	-362767.359	-5.534	-11.068
7	4.680	2191788.6	100	1.877	807115.317	12.286	24.571
8	6.403	2998903.92	100	1.873	-189303.751	-2.888	-5.776
9	5.999	2809600.17	100	1.857	-146848.823	-2.259	-4.519
10	5.685	2662751.35	100	1.867	-1030170.474	-15.766	-31.533
11	3.486	1632580.87	100	1.873	134289.498	2.049	4.098
12	3.772	1766870.37	100	1.879	237482.902	3.611	7.222
13	4.279	2004353.27	100	1.878	245337.986	3.732	7.465
14	4.803	2249691.26	100	1.873	433907.343	6.619	13.239
15	5.730	2683598.6	100	1.873	-2683598.601	0.000	0.000





Gambar 19. Perbandingan garis pantai tahun 2014 (Hitam), dan perkiraan pada tahun 2015 (hijau) dan 2016 (kuning) (Google Earth, 2014).

Perkiraan perubahan garis pantai ini hanya berlaku pada kondisi pantai yang sama dengan waktu saat dilakukan penelitian. Terutama pada faktor yang berpengaruh terhadap angkutan sedimen pantai seperti, kondisi gelombang, kemiringan pantai, sudut datang gelombang terhadap kontur pantai.

Pantai secara alami akan mempertahankan dirinya pada posisi tertentu dengan menjaga kesetimbangan, pada kondisi tertentu pantai mengalami erosi atau abrasi maka pada kondisi tertentu akan mengalami sedimentasi. Hal ini terjadi ketika siklus sedimen tidak terganggu oleh profil hambatan ataupun adanya perlakuan yang merusak kesetimbangan alam tersebut (Triatmodjo, 1999). Sebagaimana halnya abrasi di Pantai Tlonto Raja dalam beberapa tahun terakhir yang telah merusak puluhan rumah warga setempat dan akan terus bertambah apabila tidak ada penangganan yang tepat.

Dalam bab ini dibahas abrasi di Pantai Desa Tlonto Raja, Kecamatan Pasean, Kabupaten Pamekasan Madura serta rekomendasi penanggulangnya. Sehingga nantinya diharapkan dapat memberikan informasi, gambaran dan pertimbangan untuk masyarakat maupun instansi terkait dalam melakukan pengelolaan wilayah pesisir Pantai Desa Tlonto Raja.

4.3 Analisis Laju Abrasi

Apabila melihat Gambar 17 dapat diketahui bahwasanya perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Desa Tlonto Raja mengalami penambahan atau sedimentasi dan pengurangan atau abrasi. Dalam subbab ini analisis abrasi dilakukan dengan cara melihat perubahan garis pantai yang terjadi di setiap pias lalu dilakukan kajian perpias untuk selanjutnya dapat diketahui penyebab perubahan garis pantai. Berikut ini adalah analisis laju perubahan garis pantai yang telah terjadi maupun yang akan datang.

4.3.1 Analisis Laju Perubahan Garis Pantai Waktu Lampau.

Perubahan garis pantai waktu lampau merupakan perubahan garis pantai yang telah terjadi pada waktu sebelumnya. Dalam penelitian ini garis pantai tahun 2013 hasil digitasi citraQuick bird II dari Goggle Earth Pro di

bandingkan dengan data garis pantai tahun 2014 hasil *tracking* dilapangan, sehingga didapatkan data perubahan garis pantai setiap pias sebagai berikut.

- Analisis perubahan garis pantai pias 1.

Secara umum garis pantai pada pias 1 mengalami abrasi sebesar $1\pm 0,94$ meter, hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung menonjol sehingga menghadang terjangan gelombang secara langsung.

Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 2.

Secara umum garis pantai pada pias 2 mengalami sedimentasi sebesar $1,25\pm 0,85$ meter, walaupun di ujung kanan pias ini terdapat bagian pantai yang juga terabrasi dengan volume kecil. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 3.

Secara umum garis pantai pada pias 3 mengalami sedimentasi sebesar $0,5\pm 1,5$ meter, walaupun di ujung kanan pias ini terdapat bagian pantai yang juga terabrasi dengan volume kecil. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 4.

Secara umum garis pantai pada pias 4 mengalami sedimentasi sebesar $1,75 \pm 1,49$ meter, walaupun di ujung kanan pias ini terdapat bagian pantai yang juga terabrasi dengan volume kecil. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 5.

Secara umum garis pantai pada pias 5 mengalami abrasi sebesar $0,75 \pm 0,94$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung menghadap ke arah datangnya gelombang datang, sehingga mendapat terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga cukup mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 6.

Secara umum garis pantai pada pias 6 mengalami sedimentasi sebesar $2 \pm 0,84$ meter, walaupun di ujung kanan pias ini terdapat bagian pantai yang juga terabrasi dengan volume kecil. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 7.

Secara umum garis pantai pada pias 7 mengalami sedimentasi sebesar $2,25 \pm 0,25$ meter, walaupun di ujung kanan pias ini terdapat bagian pantai yang juga terabrasi dengan volume kecil. Hal ini disebabkan

morfologi pantai yang cenderung terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 8.

Secara umum garis pantai pada pias 8 pertama mengalami sedimentasi sebesar $1,75 \pm 0,94$ meter, walaupun di ujung kanan pias ini terdapat bagian pantai yang juga terabrasi dengan volume kecil. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 9.

Secara umum garis pantai pada pias 9 mengalami abrasi sebesar $1 \pm 1,34$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang lebih menjorok kelaut daripada pias di sampingnya sehingga pantai mendapat terjangan gelombang secara langsung dan dengan energy lebih besar. Disamping itu adanya aktifitas warga pada pias 14 menjadikan suplai sedimen ke pias 13 menjadi berkurang.

- Analisis perubahan garis pantai pias 10.

Secara umum garis pantai pada pias 10 mengalami sedimentasi sebesar $1,75 \pm 0,59$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung cekung dan terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Namun pada pias ini terdapat aktifitas warga yang melakukan penambangan pasir pantai, sehingga kapasitas pantai yang seharusnya mampu menampung volume sedimen lebih banyak menjadi berkurang.

- Analisis perubahan garis pantai pias 11.

Secara umum garis pantai pada pias 11 mengalami abrasi sebesar $0,6\pm 1,37$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung lebih menonjol dari pias di sampingnya, sehingga menjadikannya tak terlindung dari terjangan gelombang secara langsung. Disamping itu terdapat beberapa tanaman pantai yang tumbuh di atas pantai sehingga mampu memperkuat pantai dari sedimen transport berlebih.

- Analisis perubahan garis pantai pias 12.

Secara umum garis pantai pada pias 12 mengalami abrasi sebesar $3,75\pm 0,47$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung tegak lurus dengan arah datangnya gelombang, sehingga pantai secara langsung mendapat hempasan gelombang dengan energy yang besar. Disamping itu ketiadaan tumbuhan pantai, serta penggunaan lahan untuk pemukiman menjadikan pantai tidak memiliki pelindung dan penguat struktur pantai sehingga pasir pantai dengan mudah terkikis gelombang.

- Analisis perubahan garis pantai pias 13.

Secara umum garis pantai pada pias 13 mengalami abrasi sebesar $3,25\pm 0,55$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung searah dengan arah datangnya gelombang, namun ketiadaan tumbuhan pantai, serta penggunaan lahan untuk pemukiman menjadikan pantai tidak memiliki pelindung dan penguat struktur pantai sehingga pasir pantai dengan mudah terkikis gelombang. Disamping itu keberadaan bangunan jetty pada sungai di samping kanan pias serta adanya aktivitas penambangan pasir pantai di sebarang sungai memberikan pengaruh negatif pada keseimbangan proses alami pantai.

- Analisis perubahan garis pantai pias 14.

Secara umum garis pantai pada pias 14 mengalami abrasi sebesar $2,3 \pm 0,55$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung searah dengan arah datangnya gelombang, namun ketiadaan tumbuhan pantai, serta penggunaan lahan untuk pemukiman menjadikan pantai tidak memiliki pelindung dan penguat struktur pantai sehingga pasir pantai dengan mudah terkikis gelombang. Disamping keberadaan bangunan jetty pada sungai di samping kanan pias serta adanya aktivitas penambangan pasir pantai di sebarang sungai memberikan pengaruh negatif pada keseimbangan proses alami pantai.

- Analisis perubahan garis pantai pias 15.

Secara umum garis pantai pada pias 15 mengalami abrasi sebesar $2,75 \pm 0,25$ meter. Hal ini disebabkan morfologi pantai yang cenderung searah dengan arah datangnya gelombang, namun ketiadaan tumbuhan pantai, serta penggunaan lahan untuk pemukiman menjadikan pantai tidak memiliki pelindung dan penguat struktur pantai sehingga pasir pantai dengan mudah terkikis gelombang. Disamping keberadaan bangunan jetty pada sungai di samping kanan pias serta adanya aktivitas penambangan pasir pantai di sebarang sungai memberikan pengaruh negatif pada keseimbangan proses alami pantai.

4.3.2 Analisis Laju Perubahan Garis Pantai Waktu Yang akan datang.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 1.

Pias 1 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 1 mengalami sedimentasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar 1,418 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 2.

Pias 2 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 2 mengalami sedimentasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar 5,597 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 3.

Pias 3 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 3 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar -2,644 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 4.

Pias 4 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 4 mengalami sedimentasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar -2,273 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 5.

Pias 5 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 5 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar 5,85 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 6.

Pias 5 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 5 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami abrasi sebesar 3,52 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 7.



Pias 7 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 7 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami abrasi sebesar 2,53 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 8.

Pias 8 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 8 mengalami sedimentasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar 5,53 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 9.

Pias 9 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 9 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami abrasi sebesar 10,76 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 10.

Pias 10 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 10 mengalami sedimentasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar 15 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 11.

Pias 11 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 11 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami abrasi sebesar 1,47 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 12.

Pias 12 terletak pada bagian yang terlindung dari arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 12 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami abrasi sebesar 6,38 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 13.

Pias 13 terletak pada bagian yang mengarah ke arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 13 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami abrasi sebesar 3,44 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 14.

Pias 14 terletak pada bagian yang mengarah ke arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 14 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami abrasi sebesar 3,69 meter pertahun.

- Analisis Perkiraan perubahan garis pantai pias 15.

Pias 15 terletak pada bagian yang mengarah ke arah gelombang datang, sehingga menjadikan pias 15 mengalami abrasi. Berdasarkan perhitungan, diprediksikan bagian ini akan mengalami sedimentasi sebesar 2,53 meter pertahun.

Berdasarkan paparan perubahan garis pantai per pias baik yang lampau maupun prediksi dapat dianalisa sebagaimana pada Tabel 10 berikut.

Tabel 9. Analisis Laju Abrasi

No Pias	Perubahan garis Pantai 2013-2014 berdasar citra Quick Bird II		Perubahan garis Pantai 2014-2015 berdasar Perkiraan		Analisis
	Besaran (m)	Keterangan	Besaran (m)	Keterangan	
1	1 ±0,94	Sedimentasi	1.418	Sedimentasi	Normal
2	1,25±0,85	Sedimentasi	5,597	Sedimentasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai
3	,5 ± 1,5	Sedimentasi	1,644	Sedimentasi	Normal
4	1,75 ±1,49	Sedimentasi	1,73	Sedimentasi	Normal
5	0,75 ±0,94	Abrasi	-6.066	Abrasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir
6	2 ±0,84	Sedimentasi	5,534	Sedimentasi	Normal
7	-2,25 ±0,25	Abrasi	-12.286	Abrasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir
8	1,75 ±0,94	Sedimentasi	2,88	Sedimentasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir
9	-1 ±1,24	Abrasi	-0.861	Abrasi	Normal
10	1,75 ±0,59	Sedimentasi	15,76	Sedimentasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir
11	0,6 ±1,37	Sedimentasi	-1.18	Abrasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir
12	-3,75 ±0,47	Abrasi	-5.1	Abrasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir
13	-3,25 ±0,25	Abrasi	-2.75	Abrasi	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir
14	-2,3 ±0,55	Abrasi	-2.96	Abrasi	Normal

No Pias	Perubahan garis Pantai 2013-2014 berdasar citra Goggle Earth		Perubahan garis Pantai 2013-2014 berdasar citra Goggle Earth		Analisis
	Besaran (m)	Keterangan	Besaran (m)	Keterangan	
15	-2,75 ±0,25	Abrasi	0	Tetap	Tidak normal, dikarenakan adanya perubahan morfologi pantai ataupun adanya aktivitas penambangan pasir

Dari analisa ini dapat disimpulkan bahwa adanya hembusan Angin Munson Australia yang mendorong gelombang bergerak ke arah barat, sehingga mengakibatkan angkutan sedimen menyusur pantai ke arah barat. Hal ini terlihat dari pola perubahan garis pantai yang terabrasi pada pantai yang menghadap ke arah datangnya gelombang dari timur yaitu pias 15,14,12, 10, 9, 7, 5 4 dan 2. Sedangkan sedimentasi terjadi pada daerah yang searah dan agak terlindung dari gelombang yaitu pada pias 13, 11, 8, 6, 3 dan 1. Keadaan tersebut sesuai dengan teori yang dinyatakan oleh Ningsih (2002), bahwasanya daerah tanjung merupakan daerah konvergensi gelombang, sehingga kekuatan gelombang menjadi lebih besar dari pada di perairan teluk yang mana lebih terlindung dari gelombang. Maka daripada itu dapat dipastikan angkutan sedimen yang terjadi di perairan tanjung yang terbuka lebih besar daripada daerah teluk. Adapun besar laju abrasi secara total berdasar citra satelit Quick Bird II adalah sebesar 0,363 m dan untuk prediksi adalah Abrasi sebesar 0,0658 m. Gambar 23 adalah perbandingan perubahan garis pantai tahun 2013, 2014 dan 2015, Gambar 24 perbandingan perubahan garis pantai tahun 2013, 2014 dan 2016 (Lampiran 7).

Terdapat sebuah Perbedaan laju abrasi antara perubahan garis pantai berdasar citra dan perubahan garis pantai berdasar perkiraan model numerik, hal ini sangat dimungkinkan karena adanya faktor-faktor penyebab abrasi yang berperan disana terutama faktor non hidrooseanografi.

4.4 Analisis Penyebab Abrasi

Abrasi pantai disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu faktor alam dan faktor manusia (Hidayat, 2006). Berdasarkan teori tersebut untuk mengetahui penyebab terjadinya abrasi di Pantai Desa Tlonto Raja Pasean dilakukan analisis untuk mengetahui hubungan atau pengaruh antara faktor-faktor penyebab abrasi dengan perubahan laju abrasi sebagai berikut:

4.4.1 Pengaruh gelombang terhadap laju abrasi.

Laju transpor sedimen sepanjang pantai tergantung pada sudut datang gelombang, durasi dan energi gelombang (Triatmodjo, 1999). Sedangkan menurut Ningsih (2002) menyatakan bahwa daerah tanjung merupakan daerah konvergensi gelombang, sehingga kekuatan gelombang lebih besar daripada di daerah teluk yang lebih terlindung dari gelombang. Melihat teori tersebut, maka pengaruh gelombang terhadap laju abrasi dapat dianalisis.

Berdasarkan hasil perubahan garis pantai yang telah terjadi (2013-2014) terdapat variasi perubahan garis pantai pada setiap pias. Pada pias yang menonjol ke arah laut atau pias yang berhadapan langsung kearah datangnya gelombang mengalami perubahan garis pantai yang lebih besar daripada pias yang terlindung atau tersembunyi dari arah datangnya gelombang. Sebagai contoh adalah pias 7 yang lebih menonjol kelaut daripada pias di sampingnya dan pias 12 yang menghadap langsung kearah gelombang datang masing-masing mengalami abrasi sebesar -2,250 dan -3,750 meter. Sedangkan pada pias 4 yang menghadap membelakangi arah

gelombang datang dan pias 10 yang terletak berbentuk teluk atau menjorok ke arah darat mengalami sedimentasi sebesar 1,750 meter.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa gelombang memiliki pengaruh besar dalam angkutan sedimen. Bahkan dalam pemodelan perubahan garis pantai, gelombang merupakan data vital dalam menghitung angkutan sedimen sepanjang pantai.

4.4.2 Penggundulan hutan mangrove.

Mangrove memiliki peranan penting sebagai pelindung abrasi, penahan lumpur, perangkap sedimen dan sebagai peredam gelombang (Bengen,2001).

Di lokasi Pantai di Desa Tlonto Rajakeberadaan hutan mangrove telah tiada, karena dialih fungsikan menjadi pemukiman warga setempat, sehingga pantai tidak lagi memiliki pelindung yang dapat menjaga kestabilannya.

4.4.3 Interupsi angkutan sedimen sejajar pantai.

Pantai merupakan wilayah yang labil karena interaksi darat dan laut. Adanya profil-profil alami seperti sungai, tanjung dan teluk ataupun buatan seperti bangunan yang menjorok akan mempengaruhi pola arus dan gelombang di sekitarnya (Supriyanto, 2003).

Di Pantai Desa Tlonto Raja terdapat bangunan *jetty* di bibir Sungai Angsokahyang menjorok ke laut sejauh 50 meter. Keberadaan *jetty* menghambat angkutan sedimen dari timur sungai ke barat ke arah Desa Tlonto Raja, hal ini terbukti dengan banyaknya endapan di sisi timur bangunan *jetty* dan dimanfaatkan oleh warga sekitar untuk diambil pasirnya.

4.4.4 Penambangan Pasir Pantai.

Penambangan pasir di Pantai Desa Tlonto Raja telah berlangsung dalam beberapa tahun terakhir (skalanews,2014). Penambangan pasir oleh warga tersebar di beberapa lokasi pantai, termasuk di pantai yang mengalami

abrasi. Penambangan pasir dilakukan dengan alat tradisional maupun menggunakan mesin diesel penghisap untuk mengumpulkan pasir pantai kedaratan, selanjutnya dijual kepada pengepul.

Menurut Yuwono (2005) penambangan pasir mengakibatkan terganggunya transpor sedimen di sepanjang pantai, bahkan terhenti. Terhentinya angkutan sedimen tersebut akan mengakibatkan suplai sedimen di sisi lain pantai berkurang, sehingga sisi pantai tersebut terabrasi oleh gelombang.

4.5 Analisis Penanganan Abrasi

Penanggulangan abrasi adalah proses penghentian atau penghambatan angkutan sedimen di pantai tertentu dengan cara memberikan bangunan buatan di sekitar pantai tersebut ataupun dengan memanfaatkan ekosistem yang ada sebagai pelindung alami pantai (Yuwono, 2005). Dalam penelitian ini analisis penanggulangan abrasi direkomendasikan sebagai berikut.

4.5.1 Analisis Bangunan *Seawall*

Dinding pantai (*seawall*) adalah bangunan yang didirikan sejajar dengan garis pantai, bangunan ini biasanya terbuat dari pasangan batu, beton, tumpukan pipa buis beton, turap, kayu dan tumpukan batu (Triatmodjo, 1999).

Bangunan *seawall* telah selesai dibangun di Pantai Desa Tlonto Raja. Didalam Madura Terkini (2014), Pemerintah Kabupaten Pamekasan telah membangun *seawall* sepanjang 1 km, dengan rincian 600 meter di Kecamatan Tumberu Agung dan sisanya di Desa Tlonto Raja, Kecamatan Pasean sepanjang 400 meter yang telah terealisasi pada bulan April 2014. Bangunan *seawall* telah didirikan di sisi Pantai Desa Tlonto Raja tepat pada garis pantai sebelumnya yaitu tahun 2012. Sebagaimana telah dipaparkan pada bab

sebelumnya bahwa bangunan *seawall* tersebut terbuat dari susunan karung goni yang berisikan tanah merah setinggi 3,5 meter, lebar dasar 3 meter, lebar puncak 1 meter dan diberi jaring-jaring dari untaian beton diatas dan pada sisi yang menghadap daratan (Gambar bangunan Lampiran 7).

Secara fisik bangunan *seawall* di Desa Tlonto Raja terlihat cukup kokoh, akan tetapi apabila melihat bahan penyusunnya berupa tanah merah dalam karung goni dan dihadapkan dengan kondisi tinggi gelombang serta tinggi pasang surut yang terjadi di lokasi, maka *seawall* tersebut senantiasa mendapat hempasan gelombang dengan rata-rata setinggi 0,7 meter dan akan bertambah menjadi $\pm 1,2$ meter saat pasang dan bahkan ketinggian gelombang dapat mencapai ketinggian 3,1 meter di pantai ketika musim penghujan, maka bangunan ini dirasa hanya berumur pendek ketika tidak dihentikannya aktifitas penambangan pasir. Hal tersebut senada dengan Bupati Pamekasan dalam berita online Madura Terkini (2014) menyatakan, bangunan *seawall* dalam waktu 1-5 tahun akan aman, namun apabila penambangan pasir tidak segera dihentikan maka bangunan ini akan lekas roboh.

4.5.2 Pelindung Alami Pantai

Pantai secara alami mampu memulihkan dirinya dari perubahan yang terhadap fisiknya secara berkala ketika sistem yang ada tidak terganggu (Triadmodjo, 1999). Dalam PERDA Kabupaten Pamekasan nomor 16 tahun 2012 Tentang RTRW Kabupaten Pamekasan 2012-2023 khususnya pasal 23, idealnya lingkungan pantai harus memiliki sabuk hijau setidaknya 100 meter dari bibir pantai sebagai pelindung dan menjaga ekosistem pantai.

Keberadaan tanaman penyangga pantai di Pantai Desa Tlonto Raja sangatlah minim. Apabila melihat peraturan yang ada sangatlah jauh dari

standar yang ada, untuk itu perlu adanya upaya pemulihan dan penanaman tanaman pelindung pantai.

Apabila melihat kondisi lingkungan yang ada Pesisir Utara Madura Sangatlah cocok untuk tanaman Cemara udang (*Casuarina equisetifolia*). Hal ini terlihat di beberapa tempat banyak pohon Cemara Udang tumbuh subur di pesisir. Menurut Nurul, Kepala DKP Kabupaten Pamekasan dalam Nafaputra (2014) menyatakan, karakter tanaman Cemara Udang mampu tumbuh di media berpasir dengan kandungan lumpur rendah dan bersalinitas tinggi, diharapkan akan mampu memperkuat struktur tanah dengan akarnya. Saat ini DKP Kabupaten Pamekasan sedang melakukan uji coba penanaman Cemara Udang di beberapa lokasi, sehingga nantinya akan ditanam dalam jumlah banyak sebagai pelindung pantai khususnya Pantai Utara Madura.

4.5.3 Penambahan Suplai Pasir Pantai (*Sand Nourishment*)

Adanya penambangan pasir liar di wilayah Pesisir Desa Tlontoraja Kecamatan Pasean dan sekitarnya menjadi penyebab erosi pantai (abrasi), untuk itu penambangan pasir pantai harus dihentikan. Sebagai upaya untuk mengembalikan kesetimbangan pantai perlu dilakukan penambahan suplai pasir pantai di lokasi abrasi untuk menggantikan pasir pantai yang hilang karena ditambang maupun abrasi. Menurut Triatmodjo (1999), erosi pantai terjadi apabila di suatu pantai yang ditinjau terdapat kekurangan suplai pasir.

Stabilisasi pantai dapat dilakukan dengan cara peremajaan pantai misalnya pengisian/penambahan pasir pada pantai tersebut. Penambahan pasir dilakukan sepanjang sektor yang tererosi, dilakukan secara berkala, dengan laju sama dengan kehilangan pasir yang disebabkan oleh erosi. Penambahan pasir sepanjang ruas pantai yang tererosi dapat dilakukan

dengan penimbunan material di ujung hulu. Arus sepanjang pantai akan mengangkut material tersebut di sepanjang pantai (ke arah hilir). Penambahan pasir tersebut akan memelihara garis pantai pada posisi yang ditetapkan.



5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisis citra Pantai Desa Tlonto Raja yang mengalami perubahan bentuk garis pantai akibat abrasi terjadi pada koordinat 113.56938 – 113.5748, yaitu pias 15,14,12, 10, 9, 7, 5 4 dan 2. Sedangkan akresi terjadi pada pias 13, 11, 8, 6, 3 dan 1. Rata-rata laju abrasi pada tahun 2013-2014 adalah sebesar 0,363 meter.
2. Berdasarkan hasil analisis citra Pantai Desa Tlonto Raja yang mengalami perubahan bentuk garis pantai akibat abrasi terjadi pada koordinat 113.56938 – 113.5748, yaitu pias 15,14,12, 10, 9, 7, 5 4 dan 2. Sedangkan Sedimentasi terjadi pada pias 13, 11, 8, 6, 3 dan 1. Rata-rata laju abrasi pada pertahun baik tahun 2014-2015 maupun 2015-2016 adalah sebesar 0,065 meter.
3. Abrasi Di Pantai Desa Tlonto Raja disebabkan beberapa faktor, diantaranya adalah adanya aktifitas warga yang menambang pasir pantai, tidak adanya tanaman pelindung pantai, dan terhambatnya angkutan sedimen sejajar pantai. Disamping itu tinggi gelombang laut, sudut datang gelombang dan kemiringan pantai juga menjadi faktor oseanografi yang berpengaruh besar.

5.2 Saran

1. Untuk penanggulangan abrasi di Pantai Desa Tlonto Raja seharusnya bangunan seawall terbuat dari material yang kokoh, seperti beton, batu kali ataupun tripod beton, karena lebih kuat terhadap gempuran gelombang daripada tumpukan karung berisi tanah. Selain itu di sepanjang pantai seharusnya ditanami tanaman pelindung pantai seperti

Pohon Cemara udang yang mampu beradaptasi pada media berpasir dan salinitas tinggi.

2. Diharapkan adanya kajian lebih lanjut mengenai penataan ruang pesisir di wilayah Tlonto Raja, sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pengembangan wilayah.



DAFTAR PUSTAKA

- [CHL] Coastal Hydraulic Laboratory. 2002. *Coastal Engginering Manual*, Part I-VI. Departement of the Army. U.S. Army Corp of Engineers.Washington DC.
- Bengen, D. G. 2001. *Sinopsis Ekosistem dan Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Dahuri, R., Rais, Ginting,S. P., dan Sitepu, M. J.. 2004. *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu. Edisi Revisi*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Diposaptono, S., 2011, *Mitigasi Bencana dan Adaptasi Perubahan Iklim*. Kementrian Kelautan dan Perikanan, Direktorat Kelautan dan Pesisir dan Pulau-Pulau kecil. Jakarta.
- ECMWF.2014. <http://old.ecmwf.int/products/data/>.(Diakses pada tanggal 25 Juni 2014).
- Hidayat, Nur., 2006, *KonstruksiBangunanLautdan Pantai Sebagai Alternatif Perlindungan Daerah Pantai*, Jurnal SMARTek. Yogyakarta.
- Komar, P. D. 1984. *CRC Handbook of coastal processes and erosion*. CRC Press, inc. Florida.
- Kurniawan , Roni. 2011. *Variasi bulanan Gelombang Laut di Indonesia*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Madura Terkini. 2014. <Http://www.maduraterkini.com/berita-pamekasan/bupati-bicara-penambangan-pasir.html>.(Diakses pada 30 Juni 2014).
- Metrotvnews,2013.<http://www.metrotvnews.com/metronews/video/2013/01/13/6/168690/Belasan-Rumah-Warga-Pamekasan-Rusak-Dihantam-Gelombang>. (Diakses pada 20 Juni 2014).
- Nafaputra.2014. <http://nafaputra.blogspot.com/2013/04/abrasi-pantura-akan-ditanami-cemara.html>.(Diakses pada 30 Juni 2014).
- Ningsih, Sari., 2002. *Oseanografi Fisis*. ITB. Bandung.
- Nizam.1986.*Model Perkembangan Garis Pantai*. Media Teknik. Bandung.
- Nontji, Anugrah. 1993. *Laut Nusantara*. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut :Suatu Pendekatan Ekologis*. H. M. Eidman, D. G. Bengen, Malikusworo H., dan Sukristijono S., Penerjemah. Terjemahan dari : *Marine Biology : An Ecological Approach*. PT. Gramedia. Jakarta.

Pratikto, W.A, Armono H.D, Suntoyo. 1997. *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut*. Edisi Pertama. BPFE. Yogyakarta.

Radarmadura, 2014.<http://radarmadura.co.id/2014/08/Ombak-Besar-Tangkis-Laut-Tlontoraja-Jebol/6-November-2014>.(Diakses pada tanggal 28 November 2014)

Rovicky. 2006. <https://rovicky.wordpress.com/2006/09/10/kita-tengok-selat-madura-yook/>. (Diakses pada 28 Januari 2015)

Sari, Erna., 2014. *Karakteristik Gelombang dan Tinggi Gelombang Laut Periode Ulang Di Perairan Tamban, Malang Selatan*.Skripsi FPIK Universitas Brawijaya. Malang. (Unpublished)

Skalanews, 2014. <Http://Skalanews.com/Berita-jawa-timur/puluahan-warga-demo-penambangan-pasir-liar.html>. (Diakses pada 30 Juni 2014)

Supriyanto, Agus. 2003. *Analisis Abrasi Pantai Dan Penanggulangnya Di Perairan Pesisir Perbatasan Kabupaten Kendal dan Kota Semarang*. Undip. Semarang.

Surakhmad, W., 2005. *Pengantar Penelitian Ilmiah – Dasar Metode Tekni*.Tarsito, Bandung.

Triatmodjo, B. 1999.*Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.

USGS.2014. <http://www.glovis.usgs.gov>.(Diakses Pada Tanggal 25 Juli 2014).

Wursito, Baskoro A., 2009, *Kajian Pengaruh Pembangunan Jetty Terhadap Kapasitas Sungai Muara way Kuripan Kota Bandar Lampung*. Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Semarang.

Yuwono, N., 2005.*Pedoman Teknis Perencanaan Pantai Buatan (Artificial Beach Nourishment)*, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Yuwono, Nur & Kodoatie, R.J., 2004. *Pengembangan Reklamasi Pantai dan Perencanaan bangunan Pengamannya (Pedoman)*. Direktorat Bina Teknik, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan tinggi gelombang signifikan

Tabel 10. Perhitungan Tinggi gelombang signifikan tahun 1999-2013.

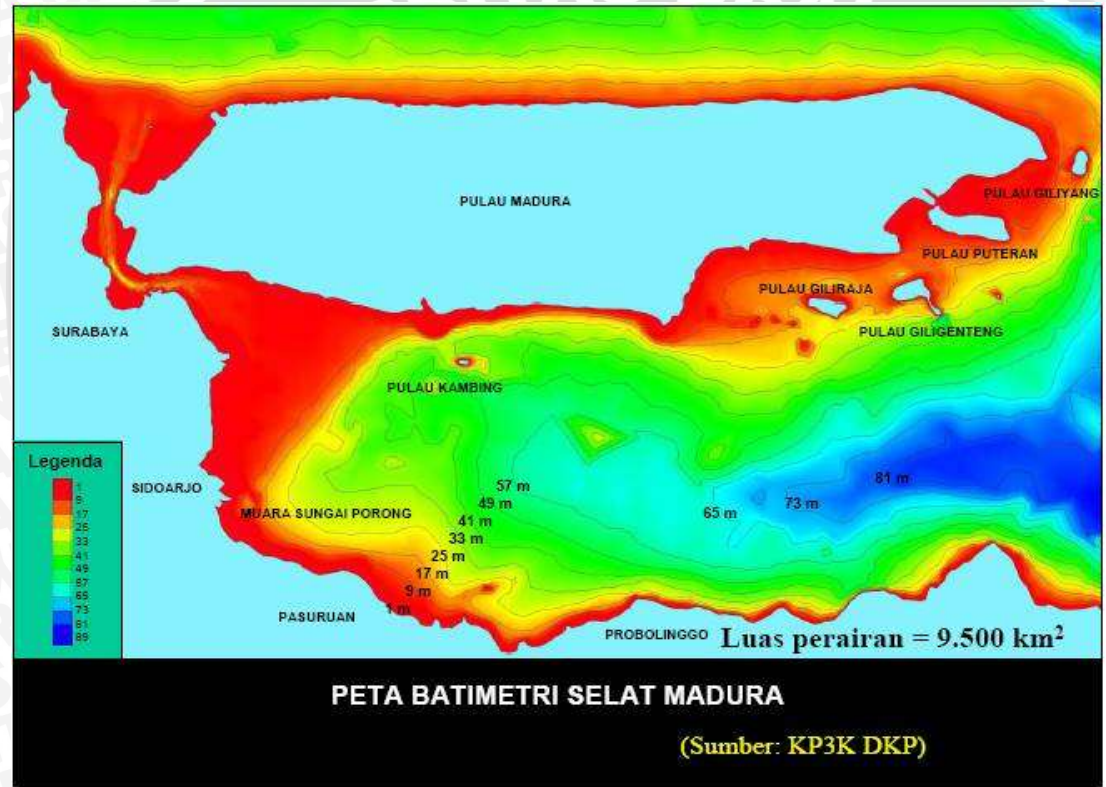
Th	H1/33 (m)	H1/33urut besar-kecil (m)	H1/33 total (m)
1999	1.22	1.41	1.27
2000	1.18	1.27	
2001	1.19	1.23	
2002	1.06	1.22	
2003	1.16	1.22	
2004	1.18	1.21	
2005	1.06	1.19	
2006	1.23	1.18	
2007	1.22	1.18	
2008	1.41	1.17	
2009	1.14	1.16	
2010	1.03	1.14	
2011	1.21	1.06	
2012	1.17	1.06	
2013	1.27	1.03	

Lampiran 2. Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0

$\frac{d}{L_0}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2nd}{L}$	$\tanh \frac{2nd}{L}$	$\sinh \frac{2nd}{L}$	$\cosh \frac{2nd}{L}$	K_s	K	$\frac{4rd}{L}$	$\sinh \frac{4rd}{L}$	$\cosh \frac{4rd}{L}$	n
0.2400	0.25922	1.6287	0.9259	2.4505	2.6467	0.929	0.3778	3.2574	12.972	13.01	0.6256
0.2410	0.26008	1.6341	0.9266	2.4649	2.6601	0.929	0.3759	3.2683	13.114	13.15	0.6246
0.2420	0.26094	1.6396	0.9274	2.4794	2.6735	0.930	0.3740	3.2791	13.257	13.30	0.6237
0.2430	0.26181	1.6450	0.9282	2.4940	2.6870	0.930	0.3722	3.2900	13.403	13.44	0.6227
0.2440	0.26267	1.6504	0.9289	2.5086	2.7006	0.930	0.3703	3.3009	13.550	13.59	0.6218
0.2450	0.26354	1.6559	0.9297	2.5234	2.7143	0.931	0.3684	3.3117	13.698	13.74	0.6209
0.2460	0.26441	1.6613	0.9304	2.5382	2.7281	0.931	0.3666	3.3226	13.849	13.89	0.6200
0.2470	0.26527	1.6668	0.9311	2.5531	2.7419	0.931	0.3647	3.3335	14.001	14.04	0.6190
0.2480	0.26614	1.6722	0.9318	2.5681	2.7559	0.932	0.3629	3.3444	14.155	14.19	0.6181
0.2490	0.26701	1.6777	0.9326	2.5831	2.7699	0.932	0.3610	3.3553	14.310	14.35	0.6172
0.2500	0.26788	1.6831	0.9333	2.5983	2.7841	0.932	0.3592	3.3663	14.468	14.50	0.6163
0.2510	0.26875	1.6886	0.9340	2.6135	2.7983	0.933	0.3574	3.3772	14.627	14.66	0.6154
0.2520	0.26962	1.6941	0.9347	2.6289	2.8127	0.933	0.3555	3.3881	14.788	14.82	0.6146
0.2530	0.27049	1.6995	0.9354	2.6443	2.8271	0.933	0.3537	3.3991	14.951	14.99	0.6137
0.2540	0.27136	1.7050	0.9360	2.6598	2.8416	0.934	0.3519	3.4100	15.116	15.15	0.6128
0.2550	0.27223	1.7105	0.9367	2.6754	2.8562	0.934	0.3501	3.4210	15.283	15.32	0.6119
0.2560	0.27311	1.7160	0.9374	2.6911	2.8709	0.934	0.3483	3.4319	15.452	15.48	0.6111
0.2570	0.27398	1.7215	0.9380	2.7069	2.8857	0.935	0.3465	3.4429	15.623	15.66	0.6102
0.2580	0.27485	1.7269	0.9387	2.7228	2.9006	0.935	0.3448	3.4539	15.796	15.83	0.6093
0.2590	0.27573	1.7324	0.9393	2.7388	2.9156	0.935	0.3430	3.4649	15.971	16.00	0.6085
0.2600	0.27660	1.7379	0.9400	2.7549	2.9308	0.936	0.3412	3.4759	16.148	16.18	0.6076
0.2610	0.27748	1.7434	0.9406	2.7710	2.9460	0.936	0.3394	3.4869	16.327	16.36	0.6068
0.2620	0.27835	1.7489	0.9413	2.7873	2.9612	0.936	0.3377	3.4979	16.508	16.54	0.6059
0.2630	0.27923	1.7545	0.9419	2.8036	2.9766	0.937	0.3359	3.5089	16.691	16.72	0.6051
0.2640	0.28011	1.7600	0.9425	2.8201	2.9921	0.937	0.3342	3.5199	16.876	16.91	0.6043
0.2650	0.28099	1.7655	0.9431	2.8366	3.0078	0.937	0.3325	3.5310	17.064	17.09	0.6035
0.2660	0.28186	1.7710	0.9437	2.8533	3.0235	0.938	0.3307	3.5420	17.254	17.28	0.6026
0.2670	0.28274	1.7765	0.9443	2.8701	3.0393	0.938	0.3290	3.5531	17.446	17.47	0.6018
0.2680	0.28362	1.7821	0.9449	2.8869	3.0552	0.938	0.3273	3.5641	17.640	17.67	0.6010
0.2690	0.28450	1.7876	0.9455	2.9039	3.0712	0.939	0.3256	3.5752	17.837	17.87	0.6002

Gambar 20. Fungsi d/L untuk pertambahan nilai d/L_0

Lampiran 3. Peta Bathimetri Pulau Madura



Gambar 21. Peta Bathimetri Pulau Madura

Lampiran 4. Perhitungan deformasi gelombang di laut dangkal

Tabel 11. Perhitungan deformasi gelombang di laut dangkal setiap pias.

Pias	α_0	H	m	T	Lo	Co	d/Lo	d/L	L	C	Sin α_0	C/Co	Sin α	α	cos α_0	cos α	Kr=(cos α_0 / α) 1/2	H'o
1	20	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.342	0.937	0.320	18.8	0.939	0.946	0.996	1.265
2	23	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.39	0.937	0.365	21.4	0.92	0.931	0.994	1.262
3	15	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.258	0.937	0.242	14	0.965	0.97	0.997	1.267
4	18	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.309	0.937	0.289	16.8	0.951	0.957	0.997	1.266
5	15	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.26	0.937	0.244	14	0.965	0.97	0.997	1.267
6	23	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.39	0.937	0.365	21.4	0.92	0.931	0.994	1.262
7	20	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.34	0.937	0.319	18.8	0.939	0.946	0.996	1.265
8	25	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.422	0.937	0.395	23.4	0.906	0.917	0.994	1.262
9	35	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.573	0.937	0.537	32.5	0.819	0.843	0.986	1.252
10	30	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.5	0.937	0.468	28	0.866	0.882	0.991	1.258
11	25	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.42	0.937	0.393	23.4	0.906	0.917	0.994	1.262
12	15	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.258	0.937	0.242	14	0.965	0.97	0.997	1.267
13	18	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.309	0.937	0.289	16.8	0.951	0.957	0.997	1.266
14	23	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.39	0.937	0.365	21.4	0.92	0.931	0.994	1.262
15	25	1.27	0.025	8	99.84	12.5	0.25	0.267	93.681	11.71	0.422	0.937	0.395	23.4	0.906	0.917	0.994	1.262

Pias	n0	n	Ks	H'o/gT^2	Hb/H'o	Hb	Hb/g^T2	db/Hb	db
1	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.706	0.003	1.1	1.877
2	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.703	0.003	1.1	1.873
3	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.708	0.003	1.1	1.879
4	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.707	0.003	1.1	1.878
5	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.708	0.003	1.1	1.879
6	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.703	0.003	1.1	1.873
7	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.706	0.003	1.1	1.877
8	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.702	0.003	1.1	1.873
9	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.688	0.003	1.1	1.857
10	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.697	0.003	1.1	1.867
11	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.702	0.003	1.1	1.873
12	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.708	0.003	1.1	1.879
13	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.707	0.003	1.1	1.878
14	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.703	0.003	1.1	1.873
15	0.5	0.616	0.930	0.002	1.45	1.702	0.003	1.1	1.873

Lampiran 5. Digitasi Citra Landsat dan posisi garis pantai .



Gambar 22. Digitasi citra Quick Bird II tahun 2013 (merah) dan 2014 (hitam) (Google Earth, 2015).

Lampiran 6. Perhitungan angkutan sedimen pantai

Tabel 12. Perhitungan angkutan sedimen dan perkiraan perubahan garis pantai setiap pias.

pias	ρ	α	g	Hb	Cb	$2\sin\alpha$	P	P1 Th.	Q	Δx	db	ΔQ	$-\Delta y$	$-\Delta y^2$
1	1.03	20	9.81	1.706	4.091	0.642	4.830	5641556.4	2262264.1	100	1.877	-93169.278	-1.418	-2.836
2	1.03	23	9.81	1.703	4.087	0.619	4.631	5409214.1	2169094.8	100	1.873	-366887.064	-5.597	-11.194
3	1.03	15	9.81	1.708	4.094	0.51	3.848	4494283.7	1802207.8	100	1.879	173915.166	2.644	5.289
4	1.03	18	9.81	1.707	4.093	0.56	4.219	4927987.4	1976122.9	100	1.878	179458.908	2.730	5.460
5	1.03	15	9.81	1.708	4.094	0.61	4.602	5375515.8	2155581.9	100	1.879	398974.109	6.066	12.132
6	1.03	23	9.81	1.703	4.087	0.729	5.454	6370463.7	2554556	100	1.873	-362767.359	-5.534	-11.068
7	1.03	20	9.81	1.706	4.091	0.622	4.680	5465807	2191788.6	100	1.877	807115.317	12.286	24.571
8	1.03	25	9.81	1.702	4.087	0.856	6.403	7478563.4	2998903.9	100	1.873	-189303.751	-2.888	-5.776
9	1.03	35	9.81	1.688	4.07	0.819	5.999	7006484.2	2809600.2	100	1.857	-146848.823	-2.259	-4.519
10	1.03	30	9.81	1.697	4.08	0.766	5.685	6640277.7	2662751.3	100	1.867	-1030170.474	-15.766	-31.533
11	1.03	25	9.81	1.702	4.087	0.466	3.486	4071274	1632580.9	100	1.873	134289.498	2.049	4.098
12	1.03	15	9.81	1.708	4.094	0.5	3.772	4406160.5	1766870.4	100	1.879	237482.902	3.611	7.222
13	1.03	18	9.81	1.707	4.093	0.568	4.279	4998387.2	2004353.3	100	1.878	245337.986	3.732	7.465
14	1.03	23	9.81	1.703	4.087	0.642	4.803	5610202.6	2249691.3	100	1.873	433907.343	6.619	13.239
15	1.03	25	9.81	1.702	4.087	0.766	5.730	6692265.8	2683598.6	100	1.873			

Lampiran 7. Peta Model perubahan garis pantai di Pantai Desa Tlonto Raja.



Gambar 23. Perbandingan garis pantai tahun 2013 (merah) hasil citra Quick Bird, 2014 hasil *tracking* (hitam) dan perkiraan 2015 (kuning).



Gambar 24. Perbandingan garis pantai tahun 2013 (merah) hasil citra Quick Bird, 2014 hasil *tracking* (hitam) dan perkiraan 2016 (kuning).

Lampiran 8. Hasil Uji-T dan Regresi Tinggi Gelombang Th. 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.

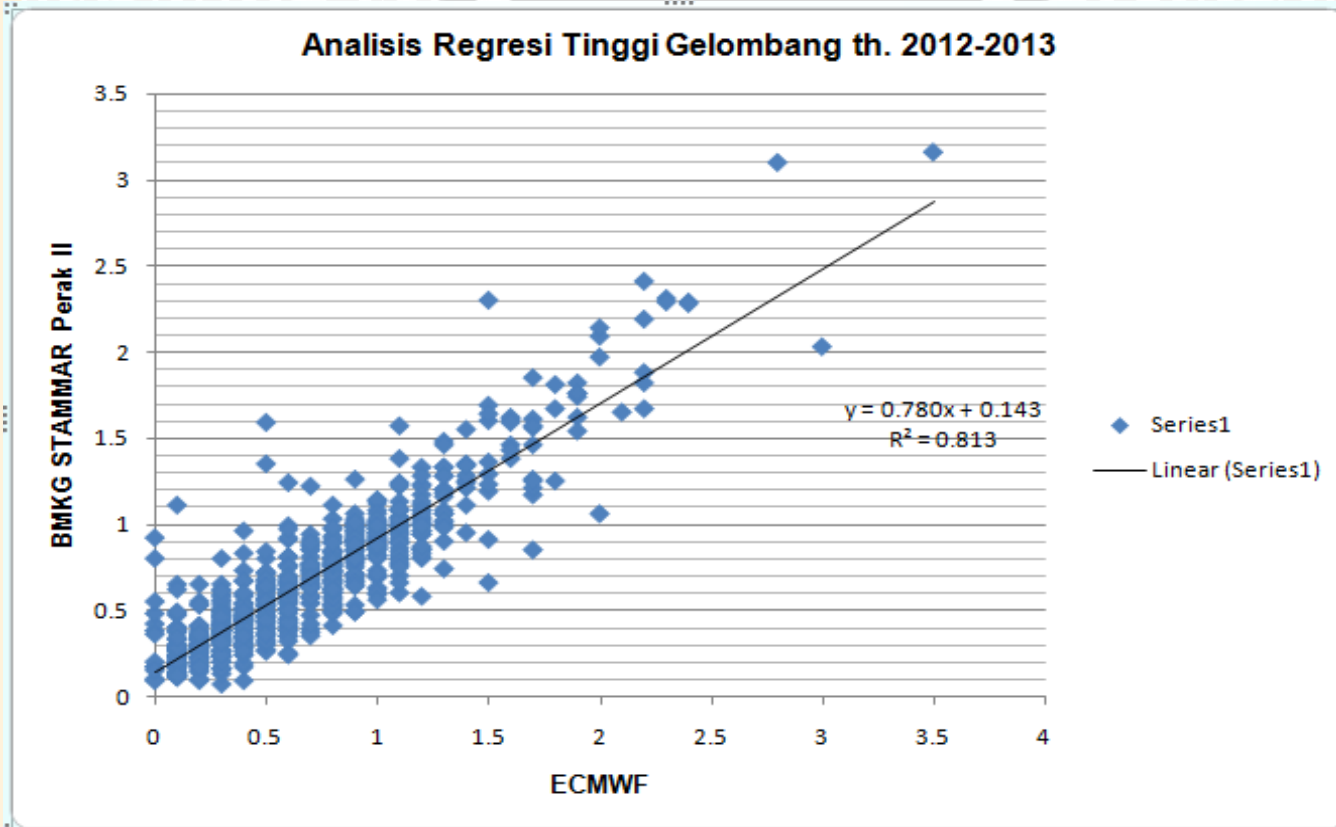
Tabel 13. Group Statistics Tinggi gelombang tahun 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.

	Sumber	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Tinggi Gelombang	1.00	731	.7030	.49584	.01834
	2.00	731	.6916	.42898	.01587

Tabel 14. Independent Samples Test Tinggi gelombang tahun 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
Tinggi Gelombang	Equal variances assumed	17.376	.000	.470	1460	.639	.01139	.02425	-.03618	.05895
	Equal variances not assumed			.470	1430.408	.639	.01139	.02425	-.03618	.05896





Gambar 25. Diagram Regresi Tinggi gelombang tahun 2012-2013 dari BMKG STAMMAR Perak II dan ECMWF.

Lampiran 9. Kondisi lapang.



Gambar 26. Kondisi lapang dan seawall.



Gambar 27. Bangunan seawall.



Gambar 28. Bangunan Seawalldan parkir kapal.



Gambar 29. Bangunan Seawall dan gelombang (Radarmadura, 2014)



Gambar 30. Bangunan seawall hanyut oleh hempasan gelombang (Radarmadura,2014)

Lampiran 10. Daftar istilah

Band	: Saluran spektrum magnetik pada satelit dengan kemampuan tertentu
Calms	: Angin yang kecepatan hembus mendekati 0 m/s
Citra	: Gambaran permukaan bumi hasil penginderaan jauh.
DKP	: Departemen Kelautan dan Perikanan
Dunes	: Gundukan pasir di pantai yang terbentuk oleh angin maupun gelombang laut.
ECMWF	: <i>European Centre for Medium-Range Weather Forecast.</i> (Lembaga klimatologi eropa)
GPS	: Global Positioning System. Alat untuk mengetahui koordinat berdasarkan satelit
Jetty	: Bangunan di bibir muara yang menjorok ke laut untuk memperlancar aliran sungai ke laut
JPEG	: <i>Joint Photographic Expert Group.</i> Suatu ekstensi untuk file foto.
Kab.	: Kabupaten
Kec.	: Kecamatan
Missing	: Data yang hilang
Overlay	: Penumpukan 2 buah gambar atau citra
PERDA	: Peraturan daerah
Pias	: Sel ataupun transek untuk mempermudah dalam menghitung perubahan garis pantai
Seawall	: Dinding pelindung pantai
Tracking	: Proses perekaman koordinat menggunakan GPS dilakukan dengan cara bejalan membentuk suatu lintasan
Variance	: Ragam atau ukuran sebaran suatu data
BT	: Bujur Timur
LS	: Lintang Selatan
KML	: Format Data koordinat pada Google Earth

Lampiran 11. Daftar Notasi

- R : Korelasi
- R^2 : Regresi
- x : Garis horizontal (Kurva)
- y : Garis vertical (Kurva)
- m : meter
- P : Komponen Fluks Gelombang disaat pecah
- g : Gravitasi
- H_o : Tinggi Gelombang di Laut dalam
- H_b : Tinggi gelombang pecah
- C_o : Cepat rambat gelombang di laut dalam.
- C_b : Cepat rambat gelombang pecah
- L_o : Panjang gelombang di laut tengah
- L : Panjang gelombang di pantai
- K_s : Koefisien pendangkalan
- K_r : Koefisien refaksi
- d : Kedalaman gelombang di laut dalam
- d_b : Kedalaman gelombang pecah

